

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة-الحراش-

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH-ALGER

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de magister en sciences agronomiques

Option : Sciences alimentaires

THEME

***Profil en acides gras de certains produits alimentaires
commercialisés en Algérie,
Intérêt nutritionnel et risque sur la santé***

Présenté par : BENTAYEB Saïda

Soutenu le 28/06/2012 devant la commission d'examen :

Président	AMMOUCHE A.	Professeur, ENSA
Directeur de thèse	YOUYOU A.	Professeur, ENSA
Examineur	FERHAT Z.	Maître de conférences, ENSA
Examineur	MEKIMENE L.	Maître de conférences, ENSA
Examineur	BENGANA M.	Maître assistant, UMMTO

Année universitaire 2010-2011

Remerciements

*J'adresse mes vifs remerciements au
Pr. YOUYOU,
Mon directeur de thèse
Pour ses précieux conseils, son extrême amabilité et son soutien constant durant la
préparation de cette thèse*

Aux membres du jury

*Pr. AMMOUCHE, M.C. FERHAT et M.C MEKIMENE
Pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail*

*M.A. BENGANA
Pour sa disponibilité et ses orientations pratiques*

J'exprime également mes sincères remerciements

*Au personnel de l'entreprise Cévital
Particulièrement*

*S. HADJAL,
Directeur du Service Recherche et Développement
Pour avoir mis à ma disposition des moyens humains et matériels*

*KHELAF, MOURAD et BRAHIM
Pour leur serviabilité*

A toute personne ayant contribué à la finalisation de ce manuscrit

Dédicaces

*A mes très chers PARENTS
A qui je dois ce que je suis
Je leur exprime ma profonde gratitude pour
les sacrifices consentis pour mon éducation,
la bienveillance avec laquelle ils m'ont toujours entourée,
et le soutien qu'ils n'ont jamais cessé de m'apporter*

*A mes très chères soeurs
Lila, Nassima, Samira et Zakia
Pour avoir été et être toujours un modèle de conduite et un exemple de réussite
pour moi, leur jeune sœur*

*A mon très cher frère
Rafik
Pour sa droiture, sa générosité et son caractère conciliant*

*A mon très cher mari
Yahia
Pour son dévouement et son inépuisable patience*

*A mes nièces et neveu
Adlène, Tasnim, Sabrinelle et Chaima*

*A ma grand-mère
Mamani*

*A mes beaux-parents
Zohra & Mohand*

*A mes belle-sœurs
Naciba, Meriem & Melissa*

*A mes beaux frères
Idir et Redha*

*A mes oncles et tantes
A mes cousins et cousines*

*A mes amies
Asma, Lamia, Naziha & Ourida*

A mes collègues de promo

Liste des abréviations

AA	acide arachidonique
ADA	american diabetes association
AE	apport énergétique
AESA	autorité européenne de sécurité des aliments
AFNOR	association française de normalisation
Afssa	agence française de sécurité sanitaire des aliments
AG	acide gras
AGCC	acide gras à chaîne courte
AGCL	acide gras à chaîne longue
AGCM	acide gras à chaîne moyenne
AGL	acide gras libre
AGMI	acide gras monoinsaturé
AGPI	acide gras polyinsaturé
AGS	acide gras saturé
AGT	acide gras trans
AGTLC	acide gra à très longue chaîne
ALA	acide alpha linoléique
ANC	apport nutritionnel conseillé
AOAC	association of official analytical chemists
ARIC	atherosclerosis risk in communities study
AVC	accident cardio-vasculaire
BE	biscuit enrobé
BF	biscuit fourré
CCM	chromatographie sur couche mince
CH	chips
C-HDL	cholestérol HDL
CK	cookie
CLA	acide linoléique conjugué
C-LDL	cholestérol LDL
CPG	chromatographie en phase gazeuse
CT	cholestérol total
DHA	acide docosahexaénoïque
EASD	european association for the study of diabetes
Efsa	european food safety authority
EPA	acide eicosapentaénoïque
ET	énergie totale
FAME	fatty acid methyl ester
FID	détecteur par ionisation à flamme
GE	génoise
HDL	high density lipoproteins

HF	huile de friture
HVNH	huile végétale non hydrogénée
HVPH	huile végétale partiellement hydrogénée
ISO	international organization for standardization
LA	acide linoléique
LDL	low density lipoproteins
LT	leucotriènes
MB	margarine en barquette
MCV	maladie cardio-vasculaire
MF	margarine de feuilletage
MG	margarine
MP	margarine en plaquette
OMS	organisation mondiale de la santé
Pf	point de fusion
PG	prostaglandine
RMN	résonance magnétique nucléaire
SFC	solid fat content
SM	smen
SNC	système nerveux central
TG	triglycéride
TX	thromboxanes
VLDL	very low density lipoproteins

Sommaire

<i>Références bibliographiques</i>	8
1. Acides gras et autres composés lipidiques	3
1.1 Définition des lipides	3
1.2 Les acides gras	3
1.2.1 Définition et structure.....	3
1.2.2 Nomenclature	5
1.2.3 Les différentes familles d'acides gras.....	7
1.2.3.1 Les acides gras saturés	7
1.2.3.2 Les acides gras insaturés	7
a. Les acides gras mono-insaturés	8
b. Les acides gras polyinsaturés.....	8
c. Les acides gras trans	11
c.1. Cas des AG monoinsaturés.....	11
c.2. Cas des AG polyinsaturés.....	12
c.3 Propriétés des AG trans	13
c.4 Propriétés des isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA)	13
c.5 Origines des AG trans.....	14
c.5.1. Biohydrogénation ruminale.....	14
c.5.2. Hydrogénation catalytique partielle	15
c.5.3. Traitements thermiques	17
c.6 Origine des acides gras conjugués.....	18
1.3 Glycérides	19
1.4 Les phospholipides	19
1.4.1 Les glycérophospholipides	19
1.4.2 Les sphingolipides.....	20
1.4.3 Les glycolipides.....	21
1.4.3.1 Les cérébrosides.....	21
1.4.3.2 Les gangliosides.....	21
1.5 Le cholestérol	22
1.6 Les lipoprotéines	23
1.7 Les eicosanoïdes	24
2. Rôles physiologiques et impacts sur la santé des AG alimentaires	25
2.1 Rôles physiologiques des acides gras	25
2.1.1 Les acides gras saturés (AGS).....	25
2.1.2 Les acides gras mono-insaturés (AGMI).....	26
2.1.3 Les acides gras poly-insaturés (AGPI)	27
2.1.4 Les acides gras <i>trans</i> (AGT).....	30
2.2 Acides gras et santé	30
2.2.1 Obésité et syndrome métabolique.....	30
2.2.1.1 Obésité et surpoids	30
2.2.1.2 Syndrome métabolique.....	31

2.2.1.2.1 Définition du syndrome métabolique.....	31
2.2.1.2.2 Effets de la nature des acides gras	32
2.2.1.3 Le diabète.....	33
2.2.2 Maladies cardiovasculaires (MCV)	34
2.2.2.1 Effet des acides gras saturés.....	34
2.2.2.2 Effets des acides gras monoinsaturés	36
2.2.2.3 Effets des acides gras polyinsaturés	37
2.2.2.3.1 Effets des n-6.....	37
2.2.2.3.2 Effets des n-3	37
2.2.2.3.3 Rôle du rapport n-6/n-3.....	38
2.2.2.4 Effets des acides gras <i>trans</i> et CLA	38
2.2.3 Système nerveux central (SNC)	39
2.2.4 Cancers	40
2.2.4.1 Effet des lipides totaux.....	40
2.2.4.2 Effet des AGS	41
2.2.4.3 Effet des AGMI.....	41
2.2.4.4 Effet des AG <i>trans</i> et isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA).....	41
2.2.4.5 Effet de l'acide linoléique	42
2.2.4.6 Effet de l'acide α -linoléique et AGPI n-3 à longue chaîne	42
3. Matériels et méthodes.....	43
3.1 Cadre de l'étude	43
3.2 Plan d'échantillonnage	43
3.2.1 Sélection des aliments	43
3.2.1.1 Cas des matières grasses visibles	43
3.2.1.1.1 Cas de l'huile de friture	43
3.2.1.1.2 Cas des Margarines et smen.....	44
3.2.1.2 Cas des matières grasses cachées :	45
3.2.2 Prélèvement des échantillons	46
3.2.2.1 Cas des matières grasses visibles	46
3.2.2.1.1 Huiles de friture	46
3.2.2.1.2 Margarines et smen.....	47
3.2.2.2 Cas des matières grasses cachées	47
3.2.3 Préparation des échantillons	48
3.2.3.1 Cas des matières grasses visibles	48
3.2.3.1.1 Huiles de friture	48
3.2.3.1.2 Margarines et smen.....	49
3.2.3.2 Cas des matières grasses cachées	49
3.2.3.2.1 Biscuits secs/gaufrettes :	49
3.2.3.2.2 Génoises.....	49
3.2.3.2.3 Chips.....	50
3.3 Matériels et méthodes d'analyse	50
3.3.1 Analyses physico-chimiques	50
3.3.1.1 Point de fusion	50
3.3.1.2 Indice de peroxyde	51
3.3.1.3 Indice d'iode	52
3.3.1.5 Acidité.....	53
3.3.1.6 Mesure de la couleur	53
3.3.1.7 Détermination du taux de solide par RMN	54
3.3.2 Détermination du profil en acides gras par chromatographie en phase gazeuse CPG.....	55
3.3.2.1 Extraction des lipides	55

3.3.2.2 Préparation des esters méthyliques d'acides gras (EMAG/FAME).....	56
3.3.2.3 Analyse des esters méthyliques d'acides gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG)	58
4. Résultats et discussions	59
4.1 Analyses des huiles de fritures.....	59
4.1.1 Analyses physico-chimiques	59
4.1.1.1 Acidité.....	59
4.1.1.2 Indice de peroxyde	60
4.1.1.3 Indice d'iode	62
4.1.1.4 Évolution de la couleur	63
4.1.2 Profil en acides gras des huiles de friture	64
4.2 Analyses des margarines et smen :.....	65
4.2.1 Taux de solide (SFC) et point de fusion des margarines et smen	65
4.2.2 Profil en acides gras des margarines et smen	70
4.3 Analyses des produits de biscuiterie et chips	80
4.3.1 Dosage des lipides	80
4.3.2 Profil en acides gras	82

Références bibliographiques

Annexes

Liste des tableaux

Tableau 1 : Point de fusion des acides gras.....	4
Tableau 2 : Termes et symboles utilisés pour désigner les acides gras.....	6
Tableau 3 : Point de fusion des acides gras de la série C18.....	13
Tableau 4 : Répartition des AG trans dans une huile végétale partiellement hydrogénée.....	16
Tableau 5 : Rôles physiologiques majeurs exercés par les AGPI n-6 et n-3.....	28
Tableau 6 : Description des échantillons de margarines et smen.....	44
Tableau 7 : Description des échantillons de biscuits, cookies, gaufrettes, génoises et chips...	46
Tableau 8 : Conditions expérimentales des essais de friture.....	48
Tableau 9 : Composition en acides gras des échantillons d'huiles de friture H0, H1, H6, H12	64
Tableau 10 : Taux de solides % et point de fusion °C des margarines MB, MP, MF et Smen SM.....	66
Tableau 11 : composition en acides gras des margarines et smen	70
Tableau 12 : Rapports entre les principaux groupes d'acides gras présents dans les MB, MP, MF et SM	76
Tableau 13 : Teneur en lipides (g/100g de produit) des biscuits, cookies, gaufrettes, génoises et chips.....	80
Tableau 14 : Apports caloriques lipidiques (Kcal/100g de produit) des produits de biscuiterie et chips.....	81
Tableau 15 : Composition en acides gras (en % des esters méthyliques d'acides gras totaux) des biscuits enrobés et fourrés, cookies, gaufrettes, génoises et chips.....	82
Tableau 16: Rapports entre les principaux groupes d'acides gras présents dans les biscuits enrobés et fourrés, cookies, gaufrettes, génoises et chips	83

Liste des figures

Figure 1: Structure d'un acide gras	3
Figure 2 : Structure de l'acide stéarique	7
Figure 3 : Structure de l'acide oléique	8
Figure 4 : Synthèse des acides gras polyinsaturés.....	9
Figure 5 : Voies de biosynthèse des acides gras polyinsaturés (AGPI) à longue chaîne à partir des AGPI précurseurs indispensables	10
Figure 6 : Configuration Isomérisation cis-trans	11
Figure 7 : Isomères géométriques et positionnels de l'acide oléique.....	12
Figure 8 : Isomères géométriques de l'acide linoléique 18 :2 9c,12c	12
Figure 9 : Voies principales de la biohydrogénation ruminale des acides octadécénoïques....	14
Figure 10 : Répartition des isomères 18 :1 trans dans la matière grasse laitière.....	15
Figure 11 : Répartition des isomères 18 :1 trans dans la matière grasse laitière.....	16
Figure 12 : Isomères des acides linoléique et alpha-linolénique formés lors de chauffage.	18
Figure 13 : Schéma d'un triglycéride (R1, R2, R3 = acides gras)	19
Figure 14 : Structure des glycérophospholipides	20
Figure 15 : Schéma d'une molécule de sphingomyéline.....	21
Figure 16 : Schéma d'un cérébroside	21
Figure 17 : Schéma d'un ganglioside	22
Figure 18 : Schéma de la molécule du cholestérol.....	22
Figure 19 : Représentation schématisée d'une lipoprotéine : chylomicron.....	23
Figure 20 : Synthèse des éicosanoïdes à partir de l'acide arachidonique et l'EPA.....	29
Figure 24 : Indices d'acidité des échantillons d'huile HF0, HF1, HF6, HF12	59
Figure 25 : Indices de peroxydes des échantillons d'huile HF0, HF1, HF6, HF12	60
Figure 26: Mécanisme de peroxydation des lipides	61
Figure 27: Indices d'iode des échantillons d'huile HF0, HF1, HF6, HF12	62
Figure 28: Evolution de la couleur dans les échantillons d'huile HF0, HF1, HF6, HF12	63
Figure 29: Taux de solides % des margarines MB, MP, MF et SM	69
Figure 30: Point de fusion (°C) des margarines MB, MP, MF et SM.....	69

Annexes

Figure 21 : Echantillons de graisses utilisées dans cette étude¹⁰⁷

Figure 22 : Echantillons des biscuits, cookies, gaufrettes, génoises et chips utilisés dans cette étude

Figure 23 : 12 échantillons d'huiles récupérées après chaque friture et un échantillon avant le début de l'opération

Introduction

Au cours des quinze dernières années, les régimes alimentaires et les modes de vie résultant de l'industrialisation, l'urbanisation, le développement économique et la mondialisation des marchés ont évolué rapidement, en particulier dans les pays en développement où sont survenus les grands changements socio-économiques. Une amélioration générale du niveau de vie a été observée, ce qui a souvent été accompagné par de mauvaises habitudes alimentaires et une activité physique insuffisante pour maintenir un équilibre énergétique optimal. Le résultat est une prévalence accrue de maladies chroniques liées à l'alimentation, chez tous les groupes socio-économiques et qui représentent désormais la principale cause de décès et d'invalidité dans le monde entier (Brenna *et al.*, 2010).

Les huiles et les graisses ont toujours constitué une partie importante de l'alimentation humaine. Ils font partie de tout aliment. En technique culinaire, comme dans les industries agro-alimentaires, on utilise différents types de corps gras dans la préparation des aliments. Dans les industries agro-alimentaires, les corps gras les plus utilisés sont les huiles végétales fluides (tournesol, soja, colza) ou plus « solides » ou concrètes comme les huiles de palme, de palmiste et de coprah (Vitrac *et al.*, 2003).

Les lipides assurent au moins trois fonctions fondamentales dans le monde des mammifères. En premier lieu, les graisses alimentaires, formées à plus de 95 % par des triglycérides sont des sources concentrées d'énergie. L'utilisation énergétique des graisses alimentaires libère 9 Kcalories par gramme. La deuxième fonction concerne la structure des membranes cellulaires. Depuis de nombreuses années, il est bien connu que les acides gras sont des constituants de toutes les membranes cellulaires de l'organisme. Ce rôle de structure est loin d'être purement inerte car il se double d'un troisième rôle, dit fonctionnel. Les acides gras participent non seulement à la cohésion physico-chimique des membranes cellulaires, mais également à de nombreuses régulations métaboliques (Colette et Monnier, 2011).

Les acides gras, principaux constituants des lipides, sont divisés en 3 principales catégories :

- Les gras saturés
- Les gras mono-insaturés

- Les gras poly-insaturés (regroupant les acides gras essentiels Oméga 3 et Oméga 6).

Les études épidémiologiques ont montré qu'une consommation excessive d'AGS favorise le risque de maladies cardiovasculaires (MCV). Les AGS, en particulier les acides C12:0, C14:0 et C16:0, augmentent la concentration plasmatique de cholestérol, dont le LDL-cholestérol considéré comme facteur majeur du risque. Les AGMI, dont le représentant majoritaire est l'acide oléique, contribuent à un effet favorable sur le profil lipidique en abaissant la concentration de LDL-cholestérol. Dans les études cliniques, il est cependant difficile d'attribuer cet effet spécifiquement à l'apport d'acide oléique, plutôt qu'à la baisse des AGS, généralement associée. Les AGPI n-6 sont quant à eux hypocholestérolémiants, contribuant ainsi à diminuer le risque MCV (Astrog et *al.*, 2011).

Pour estimer quantitativement et qualitativement la matière grasse dans certains produits alimentaires industriels consommés en Algérie, nous avons mené cette étude. Elle a été structurée de la manière suivante : une partie bibliographique qui définit les principaux acides gras et composés lipidiques alimentaires et présente succinctement le rôle physiologique des acides gras et leur impact sur la santé. Une partie matériel et méthodes qui décrit la méthodologie de sélection, de préparation et d'analyse des échantillons de produits alimentaires. Une partie résultats et discussions, divisée en 3 sections : la première traitant les résultats trouvés dans l'huile de friture, la seconde dans les margarines et smen et la dernière dans les produits de biscuiterie et chips.

1. Acides gras et autres composés lipidiques

1.1 Définition des lipides

Les lipides rassemblent plusieurs familles de molécules de structures très diverses. Néanmoins, ils ont en commun la propriété d'être solubles dans les solvants dits organiques : benzène, éther, chloroforme, mélanges de chloroforme et de méthanol, etc. Les corps gras sont donc insolubles dans l'eau, et c'est cette propriété fondamentale qui est à la source même des phénomènes particuliers qui accompagnent leur digestion, leur absorption, leur transport dans le sang et leur métabolisme au niveau cellulaire. C'est également cette propriété qui détermine les procédés particuliers d'extraction, de purification et de transformation devant être utilisés en technologie alimentaire (Brisson, 1982 ; Bauer *et al.*, 2010).

1.2 Les acides gras

1.2.1 Définition et structure

Les acides gras sont des molécules organiques constituées d'une chaîne carbonée portant un groupement carboxyle à l'une de ses extrémités. L'autre extrémité de la chaîne se termine par un groupe méthyl CH_3 (figure 1) (Poisson et Narce, 2003).

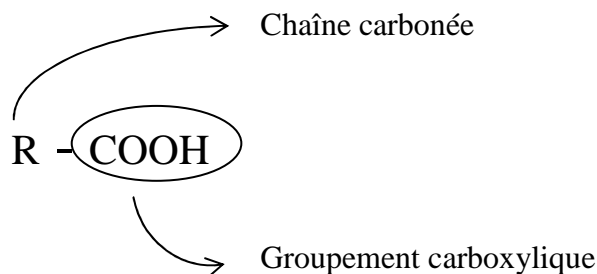


Figure 1: Structure d'un acide gras

Plusieurs acides gras différents sont présents dans un même corps gras et des acides identiques se retrouvent dans de nombreux corps gras. Plus de 1000 acides gras différents de sources végétales, animales ou microbiennes ont été identifiés, mais une vingtaine seulement sont communément rencontrés dans l'alimentation (Bauer *et al.*, 2010).

Les AG peuvent être classés de différentes manières selon leur structure, en fonction de:

- la longueur de la chaîne carbonée :
 - acides gras à chaîne courte (AGCC) : 4 à 6 carbones.

- acides gras à chaîne moyenne (AGCM) : 8 à 10 carbones, voire 8 à 14 carbones selon certains auteurs : Naudet, 1992 ; Weil, 1994 ; Poisson et Narce, 2003.
- acides gras à chaîne longue (AGCL) : 12 à 18 carbones.
- acides gras à très longue chaîne (AGTLC) : plus de 20 carbones (J-C. Breton, 1988 ; Prip-Buus, 2010).
- o leur degré d'insaturation, c'est à dire le nombre de doubles liaisons carbone-carbone dans la molécule, généralement au nombre de 0 à 6 (Al darwich, 2009).
- o La position des doubles liaisons (isomérisation de position).
- o La forme des doubles liaisons (isomérisation géométrique cis ou trans).

Les acides gras sont des molécules très hydrophobes, par conséquent insolubles dans l'eau mais solubles dans les solvants organiques, comme l'hexane, l'éther ou le chloroforme.

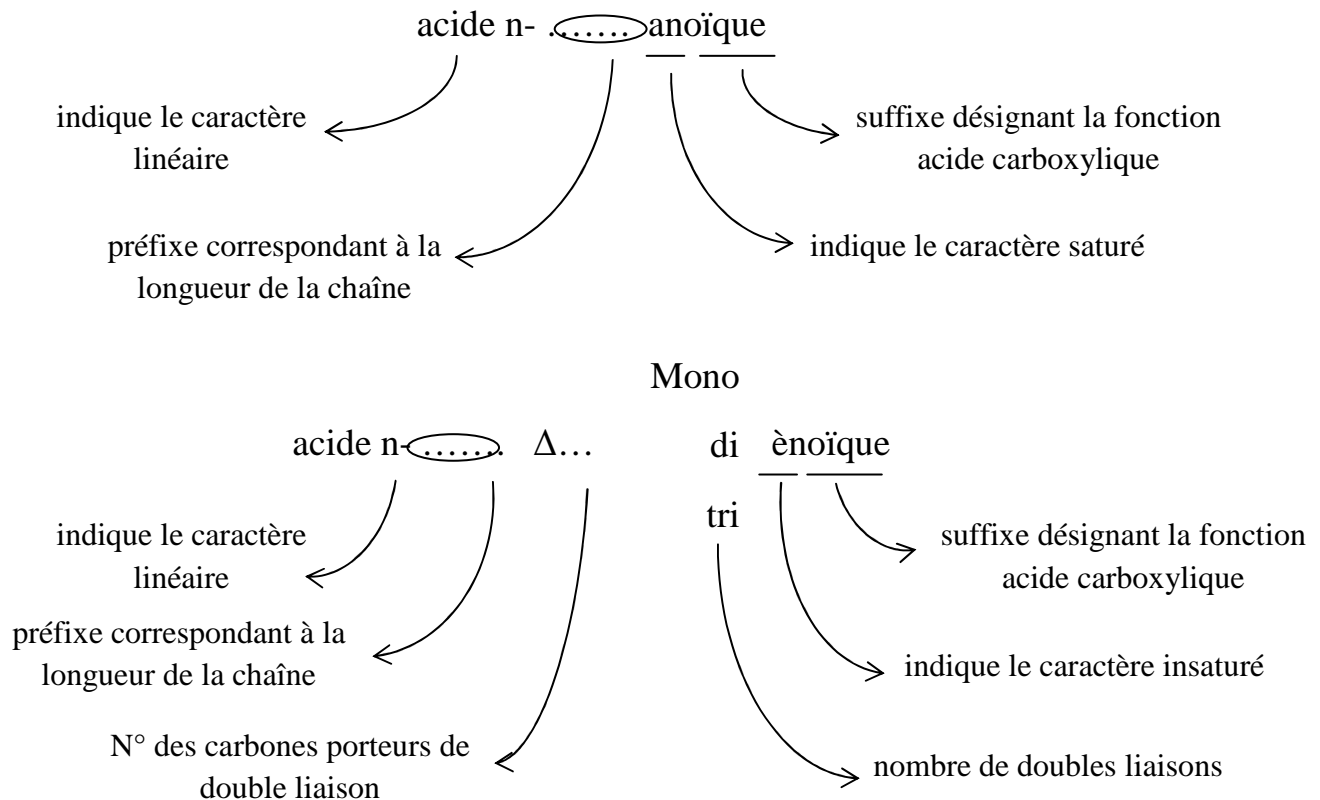
L'hydrophobie d'un acide gras croît avec la longueur de sa chaîne carbonée. Les acides gras sont soit à l'état solide soit à l'état liquide. Le passage d'un état à l'autre se produit à une température (point de fusion) dont la valeur diminue avec le degré d'insaturation et augmente avec la longueur de la chaîne carbonée (tableau 1) (Laporte, 2007). A température ambiante, les acides gras saturés sont donc généralement solides et les acides gras polyinsaturés liquides. Ces derniers se retrouvent principalement dans les huiles végétales (maïs, soja, tournesol, noix, lin.....). Les doubles liaisons confèrent aux acides gras une grande instabilité et les rendent particulièrement sensibles aux réactions d'oxydation (Al Darwich, 2009).

Tableau 1 : Point de fusion des acides gras (Laporte, 2007)

Nom commun	Formule simplifiée	Point de fusion
Ac. Myristique	C14:0	+54°C
Ac. Palmitique	C16:0	+63°C
Ac. Stéarique	C18:0	+70°C
Ac. Oléique	C18:1 c (n-9)	+14°C
Ac. Élaïdique	C18:1 t (n-9)	+46°C
Ac. Linoléique	C18:2 c (n-6)	-9°C
Ac. A-linolénique	C18:3 c (n-3)	-17°C
Ac. Arachidonique	C20:4 c (n-6)	-50°C

1.2.2 Nomenclature

La nomenclature des acides gras est complexe et n'est pas uniforme d'un auteur à l'autre. Elle devient d'autant plus complexe que l'on veut dans un seul nom ou un seul symbole indiquer les nombreuses caractéristiques de ces composés : la longueur de la chaîne carbonée, le degré de saturation ou d'insaturation, la position de la ou des double(s) liaison(s) sur la chaîne (Brisson, 1982) :



Des exemples de formules, de nomenclatures et de noms usuels donnés aux AG alimentaires les plus courants ainsi que des AG peu communs sont donnés dans le tableau 2 (Brisson, 1982 ; Bauer et *al.*, 2010).

L'appellation courante ou usuelle désigne souvent les principaux AG communs selon des critères plus « affectifs » (produit dans lequel l'acide gras a été découvert ou extrait ou identifié pour la première fois, produit où l'acide gras se trouve en grande quantité, produit pour lequel l'acide gras est une caractéristique, etc.) (Ledoux et *al.*, 2005).

Tableau 2 : Termes et symboles utilisés pour désigner les acides gras (Brisson, 1982 ; Bauer et al., 2010)

Désignation usuelle	Longueur de la chaîne (nombre de carbone)	Nombre de doubles liaisons	Abréviations			Nomenclature officielle ^a
			I	II ^b	II ^c	
Butyrique	4	0	C4:0			Butanoïque
Caproïque	6	0	C6:0			Hexanoïque
Caprylique	8	0	C8:0			Octanoïque
Caprique	10	0	C10:0			Décanoïque
Laurique	12	0	C12:0			Dodécanoïque
Myristique	14	0	C14:0			Tétradécanoïque
Palmitique	16	0	C16:0			Hexadécanoïque
Palmitoléique	16	1	C16:1		16:1, n-7	cis-9-Hexadécénoïque
Margarique	17	0	C17:0			Heptadécanoïque
Stéarique	18	0	C18:0			Octadécanoïque
Oléique	18	1	C18:1	C18:1 ω 9	18:1, n-9	cis-9-Octadécénoïque
Elaïdique	18	1	C18:1	C18:1 ω 9	18:1, n-9	trans-9-Octadécénoïque
Vaccénique	18	1	C18:1	C18:1 ω 7	18:1, n-7	trans-11-Octadécénoïque
Ruménique	18	2	C18:2			cis, trans-9,11-Octadécadiénoïque
Linoléique	18	2	C18:2	C18:2 ω 6	18:2, n-6	tout cis-9, 12- Octadécadiénoïque
γ-Linolénique	18	3	C18:3	C18:3 ω 6	18:3, n-6	tout-cis-6,9,12-Octadécatriénoïque
α-Linolénique	18	3	C18:3	C18:3 ω 3	18:3, n-3	tout-cis-9,12,15-Octadécatriénoïque
Arachidique	20	0	C20:0			Eicosanoïque
Gadoléique	20	1	C20:1	C20:1 ω 11	20:1, n-11	cis-9-Eicosénoïque
Dihomo-γ-linolénique	20	3	C20:3	C20:3 ω 6	20:3, n-6	tout cis-8,11,14-eicosatriénoïque
Arachidonique	20	4	C20:4	C20:4 ω 6	20:4, n-6	tout-cis-5,8,11,14-Eicosatétraénoïque
EPA	20	5	C20:5	C20:5 ω 3	20:5, n-3	tout-cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaénoïque
Béhénique	22	0	C22:0			Docosanoïque
Erucique	22	1	C22:1	C22:1 ω 9	22:1, n-9	cis-13-Docosénoïque
DPA, Clupadonique	22	5	C22:5	C22:5 ω 3	22:5, n-3	tout-cis-7,10,13,16,19-Docosapentaénoïque
DHA, Cervonique	22	6	C22:6	C22:6 ω 3	22:6, n-3	tout-cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaénoïque
Lignocérique	24	0	C24:0			Tétracosanoïque

^a Les atomes de carbones sont numérotés à partir du groupement carboxyle auquel on donne le numéro 1. Dans le cas des acides gras insaturés, on utilise parfois le symbole Δ pour indiquer les points d'insaturation, exp C18 :2 Δ^{9,12} pour désigner l'acide linoléique, le groupement carboxyle étant le numéro 1.

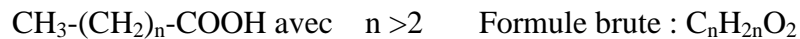
^b Les atomes de carbone sont numérotés à partir du groupement méthyle. Le signe ω indique le premier atome de carbone où se trouve un point d'insaturation.

^c La lettre « n » donne uniquement la position du premier atome de carbone où se trouve un point d'insaturation, à partir du groupement méthyle.

1.2.3 Les différentes familles d'acides gras

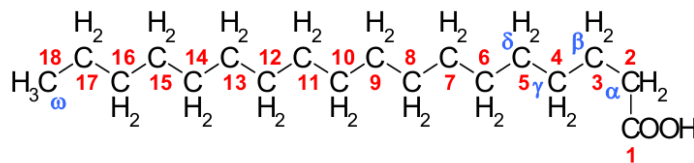
1.2.3.1 Les acides gras saturés

Un acide gras saturé est un acide gras totalement saturé en hydrogène : toutes les liaisons entre les carbones sont simples (pas de liaisons doubles) (figure 2) (Laporte, 2007). Il a pour formule chimique générale :



Les AG les plus fréquemment rencontrés sont ceux à 12, 14, 16 et 18 carbones (Naudet, 1992 ; WEIL, 1994 ; Poisson et Narce, 2003). Ils sont généralement solides à température ambiante (sous forme de graisse) à l'exception des acides butyrique ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$) et caproïque ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$) (Weil, 1994).

Acides gras saturés



C18:0 *acide octadécanoïque* *acide stéarique*

C16:0 *acide hexadécanoïque* *acide palmitique*

C14:0 *acide tétradécanoïque* *acide myristique*

C12:0 *acide dodécanoïque* *acide laurique*

Figure 2 : Structure de l'acide stéarique (Laporte, 2007)

Seuls quelques uns des acides à nombre impair d'atomes de carbone ont été trouvés dans les graisses d'origine animale. Il s'agit principalement de l'acide pentadécylique ($\text{C}_{15:0}$) et l'acide margarique ($\text{C}_{17:0}$) (Kareleskind, 1992 et Poisson et Narce, 2003).

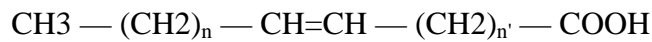
1.2.3.2 Les acides gras insaturés

Les acides gras insaturés représentent plus de la moitié des acides gras des plantes et des animaux. Ils sont soit monoinsaturés (AGMI) soit polyinsaturés (AGPI) (Al Darwich, 2009).

Ils sont classés, en diététique, par série (ou famille) et non par la longueur de leur chaîne. Quatre familles d'acides gras désaturés ont été décrites. Désignées sous les termes de ω 9, ω 7, ω 6 et ω 3, elles dérivent chacune d'un chef de file (Colette et *al.*, 2011).

a. Les acides gras mono-insaturés

Les acides gras monoinsaturés (monoénoïques) possèdent une seule double liaison et ont pour formule générale :



L'acide oléique appartient à deux séries isologues différenciées par le fait que la double liaison est en position 9 ou en position (n-9) (figure 3). C'est le plus abondant et le plus répandu des acides gras monoénoïques, si ce n'est de tous les acides gras (carthame, olive, amande, pistache, pécan, arachide, palme, suif de bœuf, beurre de cacao, tournesol...) (Poisson et Narce, 2003 ; Touitou, 2006 ; Laporte, 2007).

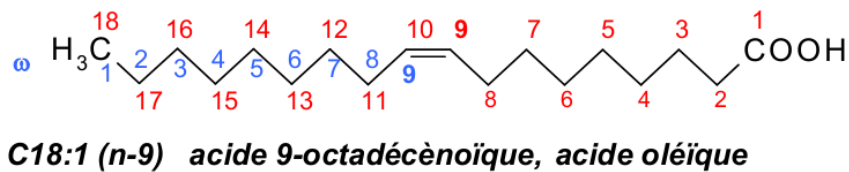
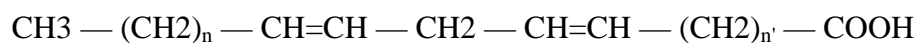


Figure 3 : Structure de l'acide oléique (Laporte, 2007)

En plus de l'acide oléique, les acides gras les plus connus renferment un nombre pair d'atomes de carbone allant de 12 à 24, parmi lesquels, nous citons les acides lauroléique (C12 :1 n-3), myristoléique (C14 :1 n-5), palmitoléique (C16 :1 n-7) et gadoléique (C20 :1 n-11), hypogénéique (C16:1 n-9), gondoïque (C20 :1 n-9), érucique (C22 :1 n-9 ; huiles de la plupart des crucifères : colza, moutarde...) et nervonique (C24 :1 n-9) (Poisson et Narce, 2003).

b. Les acides gras polyinsaturés

Les AGPI (polyéniques/polyéthyléniques) possèdent, quant à eux, plusieurs doubles liaisons, et ont pour formule générale :



Il existe deux familles (ou séries) importantes d'AGPI : les AGPI de la série n-6 (ou oméga 6) et ceux de la série n-3 (ou oméga 3). Leurs précurseurs – l'acide linoléique (LA, 18:2 n-6) et l'acide alpha-linolénique (ALA, 18:3 n-3) – sont dits « acides gras indispensables » car ils ne peuvent pas être synthétisés par les organismes du règne animal et doivent donc être apportés à l'homme par l'alimentation. En effet, l'acide linoléique et l'acide α -linoléique sont synthétisés chez les végétaux à partir de l'acide oléique, par les $\Delta 12$ et $\Delta 15$ désaturases. Ils ont leur première double liaison située respectivement à 6 carbones (n-6) et 3 carbones (n-3) de l'extrémité méthyle, doubles liaisons impossibles à insérer par les animaux et l'Homme (figure 4) (Legrand, 2007 ; Hininger-Favier, 2010).

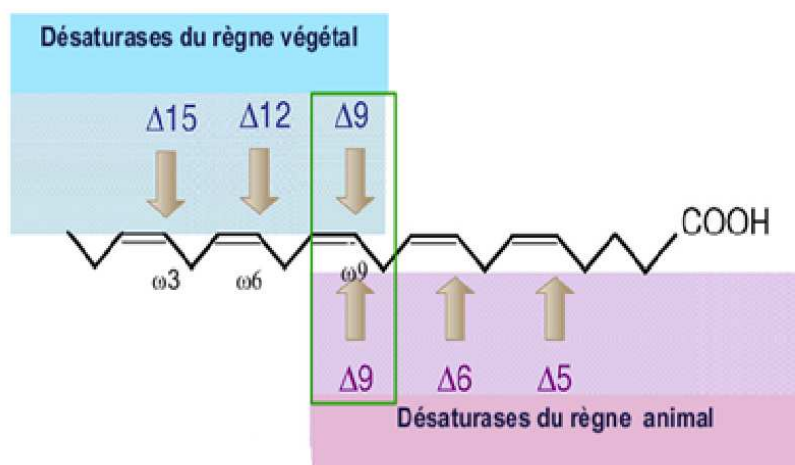


Figure 4 : Synthèse des acides gras polyinsaturés (Hininger-favier, 2010)

Cependant, l'Homme et les animaux peuvent ensuite convertir ces deux AG indispensables en AG dérivés appelés « conditionnellement indispensables » car ils sont rigoureusement requis si les précurseurs sont absents. Ce sont principalement l'acide arachidonique (C20:4 n-6) pour les AGPI n-6, l'acide eicosapentaénoïque (EPA, C20:5 n-3) et l'acide docosahexaénoïque (DHA, 22:6 n-3) pour les AGPI n-3. L'ensemble des AG indispensables et conditionnellement indispensables constituent les « AG essentiels ». La conversion des précurseurs indispensables en leurs dérivés s'effectue par une suite de réactions de désaturation qui ajoutent des doubles liaisons sur le segment carboxyle, et de réactions d'élongation qui allongent la chaîne carbonée à cette même extrémité (figure 5) (Guesnet et *al.*, 2005). Notons que, les désaturases et les élongases sont communes aux trois familles n-6, n-3 et n-9 (acide oléique) et même aux AG trans (Brenna, 2002).

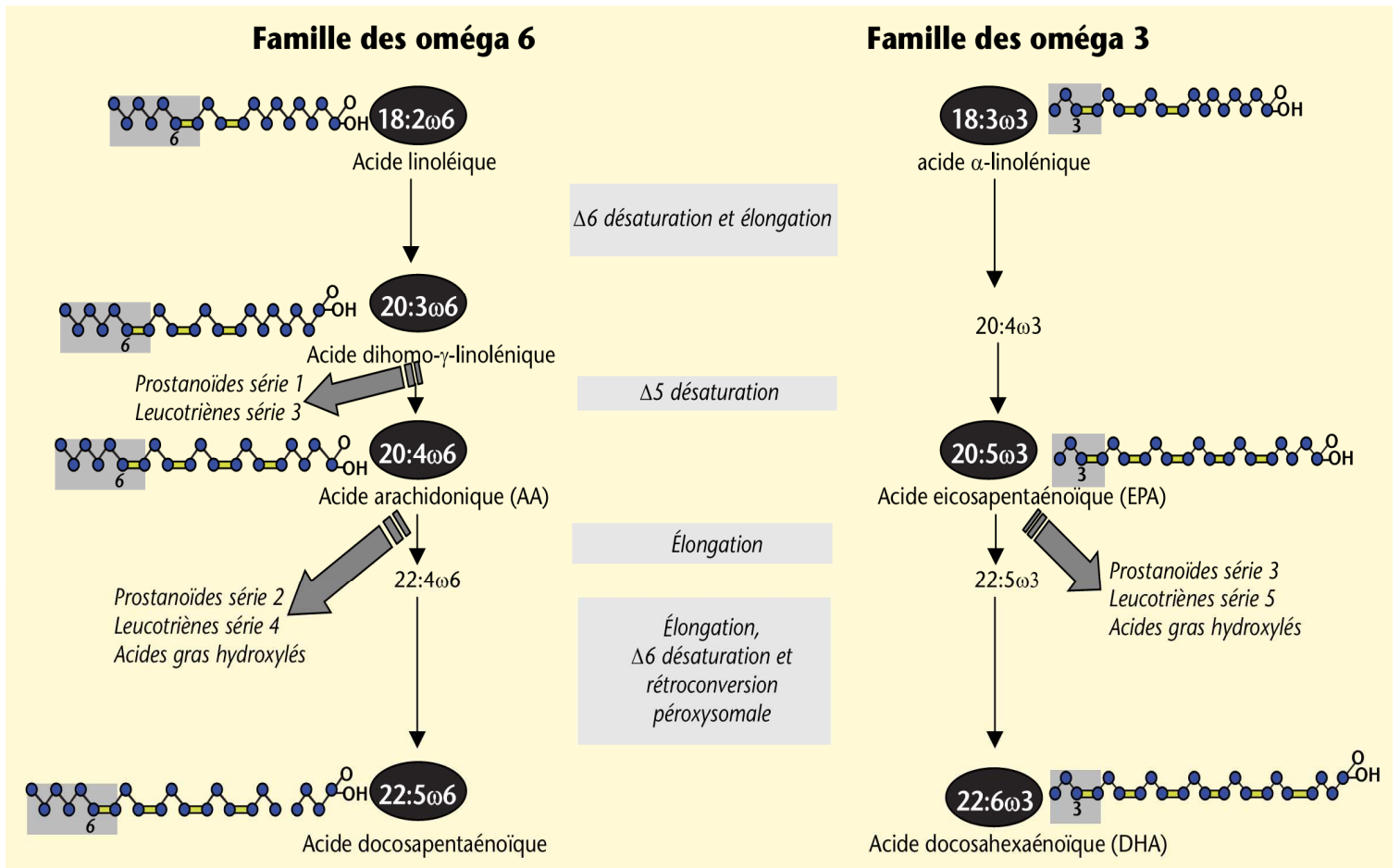


Figure 5 : Voies de biosynthèse des acides gras polyinsaturés (AGPI) à longue chaîne à partir des AGPI précurseurs indispensables (Guesnet et al., 2005)

c. Les acides gras trans

Selon la définition adoptée par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (AESA/EFSA) et l'Afssa en France, les acides gras trans sont des acides gras possédant au moins une double liaison de configuration géométrique trans, c'est-à-dire dont les 2 atomes d'hydrogène se situent de part et d'autre du plan de la liaison, alors qu'ils sont du même côté dans les acides gras de forme cis (figure 6) (Morin, 2005 ; Sébédio, 2007 ; Legrand, 2007 ; Gélinas, 2008, ; Pascal, 2009 ; Hininger-favier, 2009).

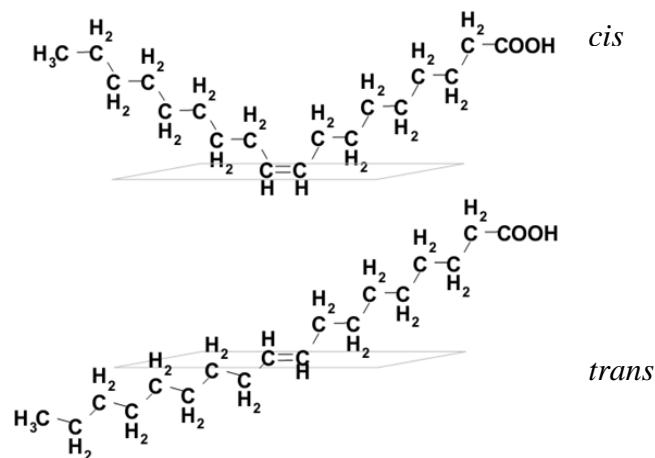


Figure 6 : Configuration Isomérisie cis-trans (Hininger-favier, 2009)

Certains pays (USA, Canada, Danemark) restreignent la définition réglementaire des acides gras trans en faisant abstraction des isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA ; Conjugated Linoleic Acid) de configuration trans/cis et trans/trans, quelle que soit la position des doubles liaisons. Les CLA sont des isomères de l'acide linoléique dont les deux doubles liaisons sont conjuguées, c'est-à-dire séparées entre elles par une seule simple liaison, que la configuration de ces liaisons soit trans ou cis (Legrand, 2007).

c.1. Cas des AG monoinsaturés

Les AG monoinsaturés (AGMI) peuvent avoir une double liaison de géométrie cis ou trans, et cette double liaison peut se situer en différents points de la chaîne carbonée (Naudet, 1992).

Par exemple, l'acide oléique (18:1 9c), le plus présent dans les aliments, a pour isomère géométrique l'acide élaïdique (18:1 9t) et pour isomère positionnel et géométrique, l'acide

vaccénique (18:1 11t) qui est également isomère positionnel de l'acide élaïdique (figure 7) (Ledoux et *al.*, 2005 ; Pascal, 2009).

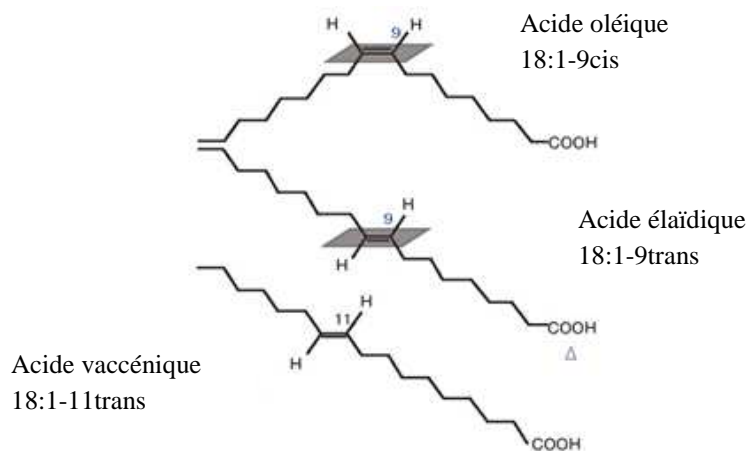


Figure 7 : Isomères géométriques et positionnels de l'acide oléique (Pascal, 2009)

c.2. Cas des AG polyinsaturés

Les AG polyinsaturés (AGPI) possèdent plusieurs doubles liaisons qui peuvent être chacune de géométrie soit cis, soit trans ; les AGPI pourront donc être soit tout cis, soit tout trans, soit combinés cis/trans. Par exemple, l'acide linoléique 18:2 9c,12c, le plus souvent rencontré dans les aliments, a 3 isomères géométriques 9c,12t ; 9t,12c et 9t,12t (figure 8) (Ledoux et *al.*, 2005).

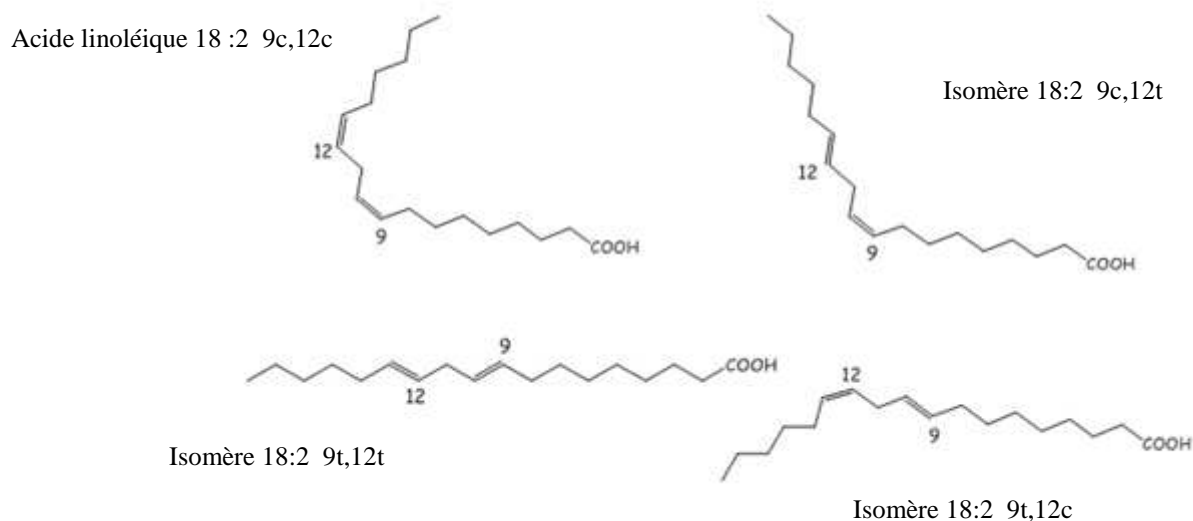


Figure 8 : Isomères géométriques de l'acide linoléique 18 :2 9c,12c (Ledoux et *al.*, 2005)

c.3 Propriétés des AG trans

Les chaînes d'acide gras trans sont généralement de configuration linéaire, proche de celle d'un acide gras saturé (Pascal, 2009). Cette configuration permet aux molécules de s'aligner plus étroitement ensemble, et d'augmenter le point de fusion (tableau 3), de sorte que les graisses conservent leur état solide à la température ambiante. Les chaînes d'acide gras cis se caractérisent par une inflexion ou (incurvation), ce qui fait que les huiles ont tendance à rester liquides à la température ambiante. Dans la nature, la plupart des acides gras mono et polyinsaturés se trouvent dans la configuration cis (Ledoux et *al.*, 2005, Gélinas, 2008).

Tableau 3 : Point de fusion des acides gras de la série C18 (Ledoux et *al.*, 2005)

AG	Pt fusion (°C)
18:0	69-70°C
18:1 9-trans	44-45°C
18:1 11-trans	42-44°C
18:1 9-cis	4°C

La présence d'une configuration trans change également d'autres paramètres physico-chimiques de la molécule tels que la polarité globale de l'acide gras, ce qui permet dans certaines conditions chromatographiques de séparer les isomères cis des isomères trans. Les liaisons trans modifient également les propriétés spectrométriques des AG (absorption UV, infrarouge, etc.), point intéressant pour leur identification. De plus, les liaisons trans influent sur les propriétés biochimiques et physiologiques des AG (Ledoux et *al.*, 2005).

c.4 Propriétés des isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA)

Les points de fusion des CLA sont différents d'un type d'isomère à l'autre, avec un gradient trans,trans > cis/trans > cis,cis. Les AG conjugués ne présentent pas la même sensibilité à l'oxydation ; le taux d'oxydation augmente en fonction du type d'isomérisation géométrique cis,cis > cis,trans > trans,trans (Yurawecz et *al.*, 2003).

c.5 Origines des AG trans

c.5.1. Biohydrogénation ruminale

La biohydrogénation ruminale, résultant de l'action d'enzymes de la flore ruminale sur les AG de la ration des ruminants, conduit à la transformation des AG insaturés en AG saturés. Les 3 voies présentées à la figure 9 sont parmi les plus étudiées (Chilliard *et al.*, 2001).

La dernière étape de ces voies (transformation 18:1-trans en 18:0), sous contrôle d'une enzyme propre aux ruminants, est une étape limitante. L'augmentation d'AG polyinsaturés dans la ration provoque donc une augmentation de tous les AG produits au long de ces voies métaboliques, et surtout des AG 18:1-trans puisque la production d'acide stéarique est faible et lente (Ledoux *et al.*, 2005).

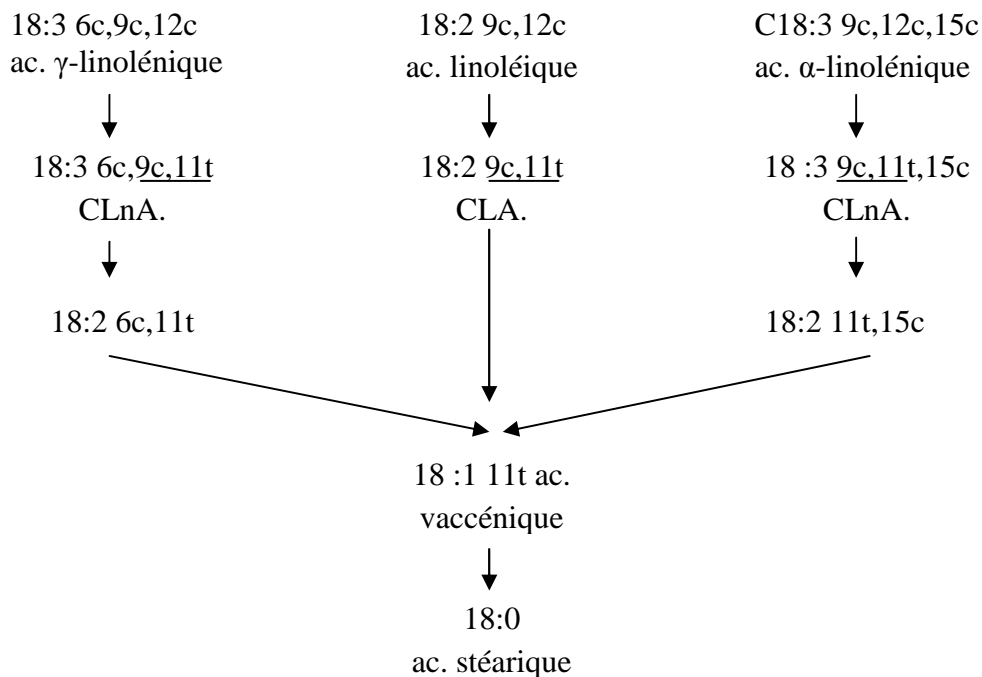


Figure 9 : Voies principales de la biohydrogénation ruminale des acides octadécénoïques (Ledoux *et al.*, 2005)

Parmi ces isomères 18:1-trans, l'acide vaccénique 18:1 11t est majoritaire et compose 30 à 50 % des 18:1-trans totaux ; les autres isomères se répartissent de façon quasi équimolaire pour les 18:1 9t à 16t ; les isomères dont la liaison est antérieure à la position Δ9

sont en proportions plus faibles (figure 10) (Precht et Molquentin, 1997 ; Ledoux et al., 2002).

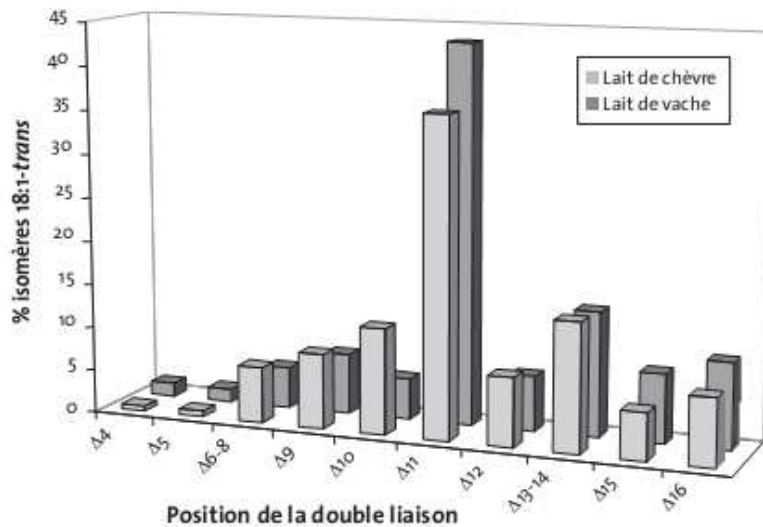


Figure 10 : Répartition des isomères 18 :1 trans dans la matière grasse laitière (Precht et Molquentin, 1997 ; Ledoux et al., 2002)

Les AG trans formés au cours du métabolisme ruminal sont absorbés à toutes les étapes de chacune des voies, passent dans le sang, puis dans les tissus, notamment dans les tissus mammaires. Tous ces AG seront excrétés et retrouvés dans le lait. Les teneurs observées sont variables et fonction de différents paramètres dont l'alimentation du bétail, allant généralement de traces à 2,5 % des acides gras totaux. Ces teneurs peuvent atteindre plus de 5 % dans des conditions d'alimentation du bétail riches en fourrage. Ils sont également présents dans les denrées alimentaires issues des ruminants (viande, produits d'origine laitière) (Chardigny et Malpuech-Brugere, 2007).

c.5.2. Hydrogénation catalytique partielle

L'industrie des corps gras réalise des hydrogénations catalytiques partielles, dont les objectifs sont de transformer les propriétés physicochimiques des matières grasses végétales en réduisant l'insaturation des acides gras, ce qui a pour effet de rendre ces matières grasses végétales :

1. moins sensibles à l'oxydation et les utiliser dans les produits frits commerciaux;
2. plus concrètes afin d'obtenir une texture et des propriétés appropriées à la fabrication de certains produits (fermeté, croustillant, croquant ou fondant avec une meilleure résistance à la cuisson) (Gélinas, 2008 ; Pascal, 2009).

Le processus d'hydrogénation consiste à injecter de l'hydrogène dans de l'huile insaturée en présence d'un catalyseur métallique (souvent du nickel) à haute température (140-225 °C) (Berthoud et Mathilde, 2008). Le gaz d'hydrogène réagit avec les graisses et provoque des changements dans la structure moléculaire (Gélinas, 2008). Pendant ce traitement, des AG trans sont générés puisque les graines oléagineuses et les huiles vierges contiennent peu d'AG trans à l'origine (Brühl, 1995, Fernandez San Juan, 1996). Les isomères trans formés sont principalement des isomères géométriques et positionnels de l'acide oléique 18:1 9c (tableau 4) (Ledoux et *al.*, 2000). Ils présentent une distribution plus ou moins gaussienne souvent centrée autour de la position originale ($\Delta 9$), parfois autour du $\Delta 10$ (figure 11) (Aro et *al.*, 1998a).

La formation d'isomères trans d'acides gras polyinsaturés au cours de l'hydrogénation catalytique est faible (Ledoux et *al.*, 2005).

Tableau 4 : Répartition des AG trans dans une huile végétale partiellement hydrogénée (Ledoux et *al.*, 2000)

AG trans	Taux (en% AG trans totaux)
18:1-trans	85-95%
18:2-trans (MI)	5-15%
18:3-trans (MI)	< 1%
16 :1-trans	-0,04%

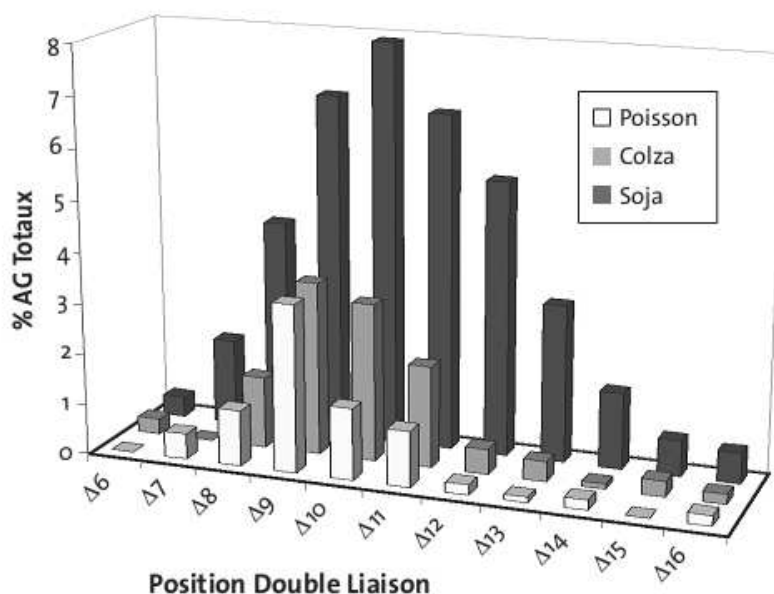


Figure 11 : Répartition des isomères 18 :1 trans dans la matière grasse laitière (Aro et *al.*, 1998a)

On obtient, à l'issue de ce procédé, des huiles partiellement hydrogénées, margarines et «shortenings» (matières grasses anhydres utilisées dans l'industrie agroalimentaire dans des applications telles que la biscuiterie, les viennoiseries, la fabrication de barres chocolatées...) (Chardigny *et al.*, 2007).

Les taux d'AG trans rapportés par les données bibliographiques s'étalent de 1 à 2 % pour les margarines ménagères de formulation récente, de 15 à 18 % pour des margarines de basses qualités, et jusqu'à 40 à 60 % pour certaines margarines destinées aux industries alimentaires. Les taux d'AG trans et la distribution des différents isomères dépendent de plusieurs paramètres tels que ceux cités par Ackman et Mag, 1998 :

- la nature et la composition en AG insaturés des huiles ;
- la nature du catalyseur ;
- les conditions d'hydrogénation (température, pression, agitation) ;
- le degré de dureté atteint.

c.5.3. Traitements thermiques

Les traitements thermiques des huiles et graisses (désodorisation lors du raffinage, cuisson, fritures, grillades, etc.) génèrent aussi des AG trans. Contrairement à l'hydrogénation catalytique, le chauffage induit peu d'isomères 18:1-trans, mais surtout des acides di- et tri-énoïques mono- voire di-trans. Les traitements thermiques produisent surtout des isomères géométriques, peu d'isomères positionnels : les doubles liaisons migrent peu ou pas, mais s'isomérisent de cis en trans (Wolff, 1993).

Les données bibliographiques mentionnent principalement l'effet du chauffage sur l'acide linoléique 18:2 9c,12c (n-6) et l'acide α -linoléique 18:3 9c,12c,15c (n-3). Les isomères formés et les taux d'AG trans produits dépendent surtout de la température atteinte, mais également de la durée d'application du traitement (Sébédio *et al.*, 1988, Sébédio et Chardigny, 1998).

Selon Sébédio et Chardigny, 1998, l'acide α -linoléique est plus sensible à l'isomérisation que l'acide linoléique. Ainsi, la probabilité de formation des isomères géométriques 18:3-trans serait de 12 à 14 fois supérieure à celle des 18:2-trans (Wolff, 1993).

Les isomères 18:3-trans peuvent représenter jusqu'à 3,5 % des AG totaux, les taux maximaux semblent être trouvés dans les huiles de colza et soja. Les isomères de l'acide

linoléique 18:2 9c,12c sont en proportions moindres (jusqu'à 1 % des AG totaux des huiles raffinées), et sont surtout des mono-trans :18:2 9t,12c, et 9c,12t. L'isomère di-trans 18:2 9t,12t n'est retrouvé que dans des cas de températures très élevées ou dans des huiles de fritures très utilisées (figure 12) (Ledoux et *al.*, 2005).

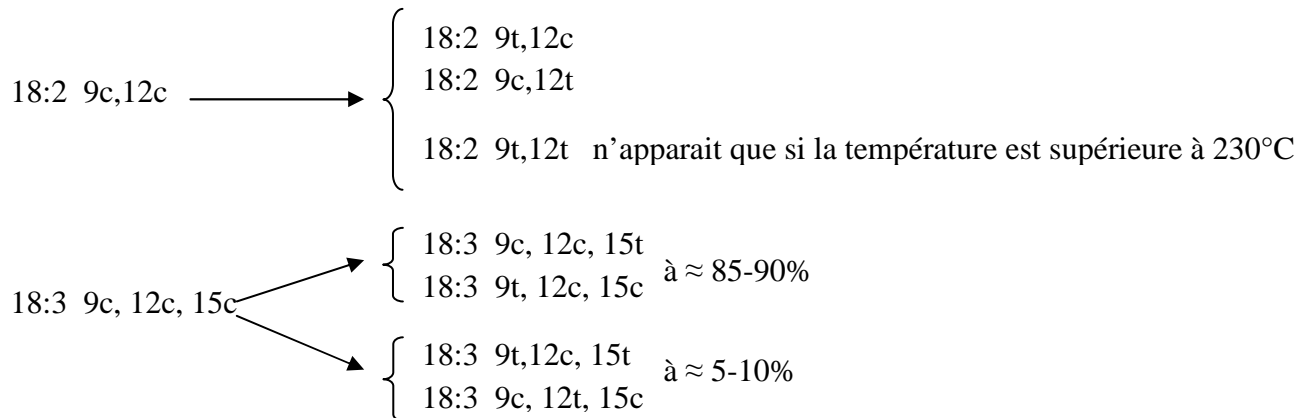


Figure 12 : Isomères des acides linoléique et alpha-linolénique formés lors de chauffage (Ledoux et *al.*, 2005).

c.6 Origine des acides gras conjugués

Comme pour les acides gras trans non conjugués, les CLA ont une origine naturelle. Comme l'acide vaccénique, ils résultent de fermentations ruminales qui transforment les acides gras polyinsaturés ingérés vers des formes plus saturées. Le principal représentant est alors l'acide ruménique, ou 18:2 9 cis, 11 trans. Cependant, et compte tenu de propriétés potentiellement intéressantes de ces « CLA », des formes synthétiques sont disponibles. Il s'agit le plus souvent de mélanges de plusieurs isomères conjugués de l'acide linoléique, les deux composés majoritaires étant l'isomère naturel, l'acide ruménique associé à une autre forme, le 18:2 10 trans, 12 cis (Chardigny et *al.*, 2007).

1.3 Glycérides

Les corps gras alimentaires ne contiennent pratiquement pas d'acides gras à l'état libre. Ils s'y trouvent sous forme de glycérides (figure 13) (Peter, 2008).

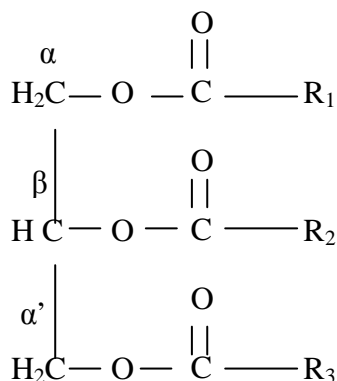


Figure 13 : Schéma d'un triglycéride (R1, R2, R3 = acides gras) (Peter, 2008)

Sur la molécule de glycérol, si les trois positions, pouvant entrer en réaction d'estérification, sont occupées par des acides gras : il s'agirait d'un triglycéride. Nous aurions un diglycéride si seulement deux des trois positions étaient occupées par des acides gras, et un monoglycéride dans le cas où une seule position serait occupée par un acide gras (Brisson, 1982).

Dans la nature, on ne trouve que des triglycérides mixtes, c'est-à-dire des triglycérides dont les acides gras sont différents d'une position à l'autre (Naudet, 1992).

Les glycérides sont présents dans la quasi-totalité des tissus de tous les êtres vivants, mais sont particulièrement abondants dans le tissu adipeux où ils peuvent représenter plus de 90 % des lipides (Courtois et *al*, 1960 ; Weil, 1994).

1.4 Les phospholipides

1.4.1 Les glycérophospholipides

Les glycérophospholipides sont les plus nombreux de tous les phospholipides et on en trouve aussi bien dans le monde végétal que dans le monde animal. La figure 15 schématise la structure d'une molécule de glycérophospholipide. Remarquons que l'acide gras R₂, occupant la position β des glycérophosphatides, est en général un acide gras insaturé et plus

spécifiquement l'acide oléique, l'acide linoléique ou l'acide arachidonique. La plupart des acides gras R_1 sont saturés (Weil, 1994 ; Albani, 2008).

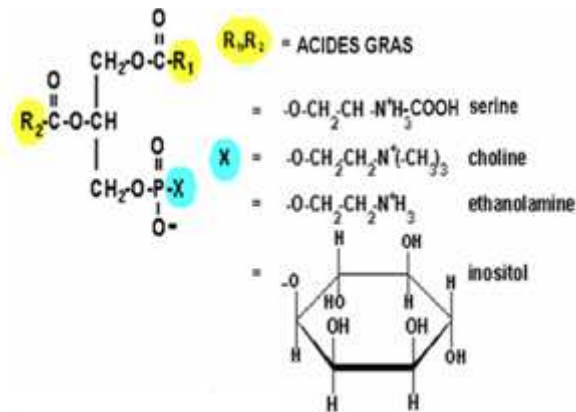


Figure 14 : Structure des glycérophospholipides (Albani, 2008)

1.4.2 Les sphingolipides

Cette classe de lipides est caractérisée par la présence de sphingosine dans leur molécule (Poisson et Narce, 2003).

Les sphingolipides se distinguent des autres lipides par le fait que l'acide gras n'est pas engagé dans une liaison ester mais sous forme d'amide avec la fonction amine de la sphingosine (Courtois et Perles, 1960).

1.4.2.1 La sphingomyéline

Les sphingomyélines sont des phospholipides membranaires, présentes dans toutes les membranes mais surtout dans le tissu nerveux (gaines de myéline) et de la cornée (Hininger-Favier, 2010 ; Raisonnier, 2010).

L'hydrolyse acide complète libère de la sphingosine, de la choline, de l'acide phosphorique et une molécule d'acide gras. La figure 15 représente une molécule de sphingomyéline (Albani, 2008).

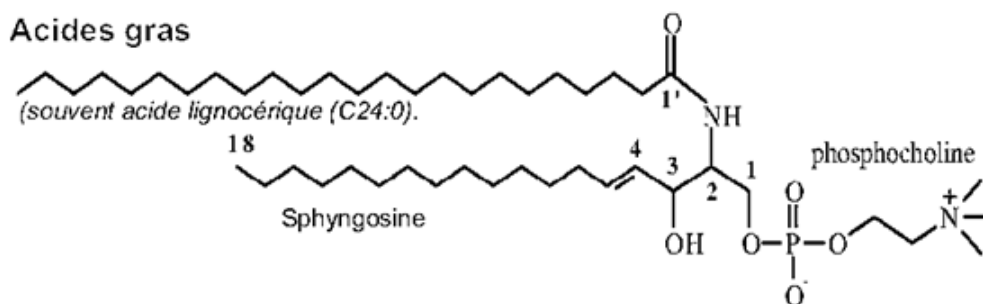


Figure 15 : Schéma d'une molécule de sphingomyéline (Hininger-Favier, 2010)

Les sphingomyélines diffèrent entre elles selon la longueur de la chaîne de l'acide gras R, qui varie de C18 à C26. L'acide lignocérique (C24 :0) et l'acide nervonique (C24 :1) y sont abondants (Brisson, 1982).

1.4.3 Les glycolipides

1.4.3.1 Les cérébrosides

Les cérébrosides sont apparentés aux sphingomyélines par le fait qu'ils comportent une molécule de sphingosine. Par contre, on n'y trouve ni acide phosphorique ni choline mais plutôt un glucide, en général du galactose. L'acide gras R possède plus de 22 atomes de carbone (acide lignocérique, nervonique, cérébronique...). La figure 16 illustre un cérébroside (Courtois et Perles, 1960 ; Poisson et Narce, 2003).

Ils existent dans le tissu nerveux, le cerveau, la peau, les hématies, l'intestin, etc (Hininger-Favier, 2010).

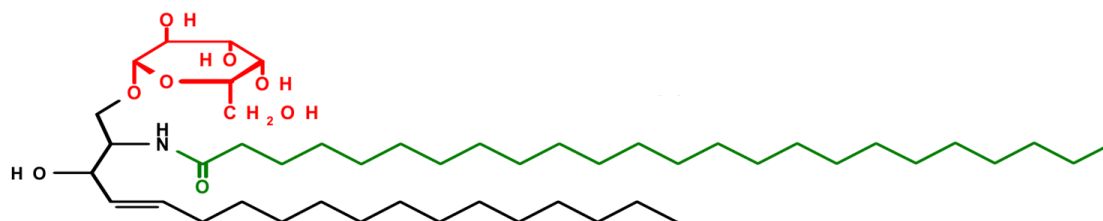


Figure 16 : Schéma d'un cérébroside (Hininger-Favier, 2010)

1.4.3.2 Les gangliosides

Les gangliosides sont des composés qui, comme les cérébrosides, contiennent une molécule de sphingosine, mais dont la fraction glucidique est constituée de plusieurs

molécules de galactose (ou parfois de glucose) (figure 17). Ils se rencontrent essentiellement dans le tissu nerveux (Courtois et Perles, 1960 ; Hininger-Favier, 2010).

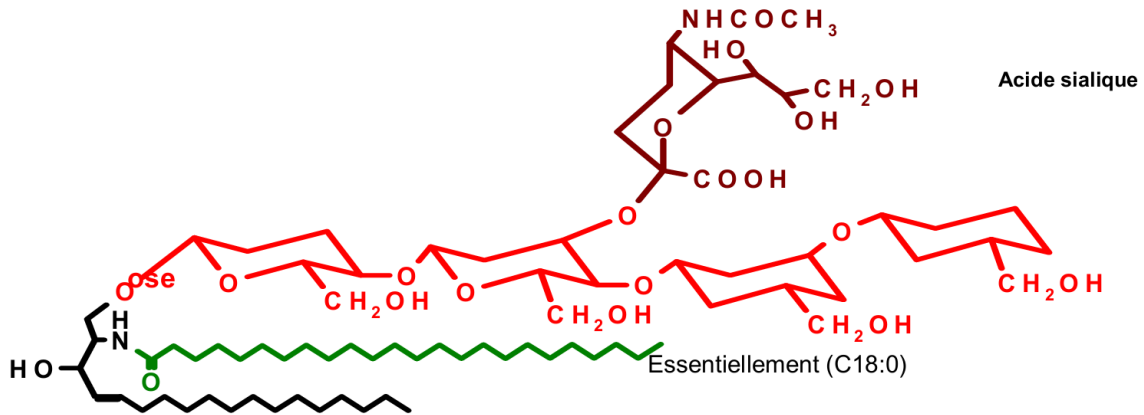


Figure 17 : Schéma d'un ganglioside (Hininger-Favier, 2010)

1.5 Le cholestérol

Le cholestérol est le plus important des stérols animaux. Les stérols végétaux sont parfois désignés sous le terme générique de phytostérols. Un schéma de la molécule est présenté dans la figure 18 (Courtois et Perles, 1960 ; Raisonnier, 2010).

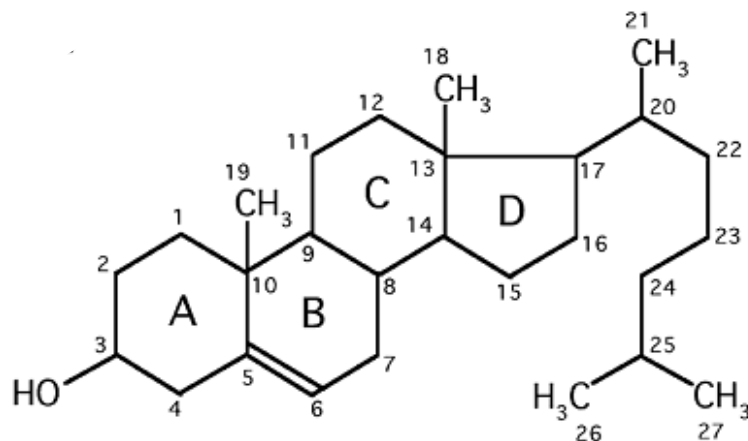


Figure 18 : Schéma de la molécule du cholestérol (Raisonnier, 2010)

Le cholestérol est un composé soluble dans les graisses de l'organisme. Parmi les substances les plus importantes, issues du cholestérol, on cite les acides biliaires, le précurseur de la vitamine D, le 7-déshydrocholestérol. Les autres produits sont soit des hormones

sexuelles mâles ou femelles soit des hormones sécrétés par les glandes surrénales (Courtois et Perles, 1960 ; Brisson, 1982).

1.6 Les lipoprotéines

Les lipoprotéines se comportent comme des corps solubles et représentent la forme sous laquelle les triglycérides, les phospholipides et le cholestérol libre ou estérifié sont véhiculés dans le milieu intérieur (sang et liquides extracellulaires). Une illustration schématique des lipoprotéines apparaît à la figure 19. On voit que les composés lipidiques se sont distribués en trois couches plus ou moins distinctes autour d'un noyau de nature protéique. Les phospholipides sont orientés de façon à satisfaire, par leurs points de polarité, leur affinité pour le noyau protéique d'une part, et le milieu aqueux ambiant, d'autre part. Les composés moins polaires, le cholestérol libre et estérifié et les triglycérides, sont alignés de façon à ce que leurs acides gras soient dirigés vers la couche où se retrouvent les points les moins polaires des molécules (Brisson, 1982 ; Sablonnière 2006).

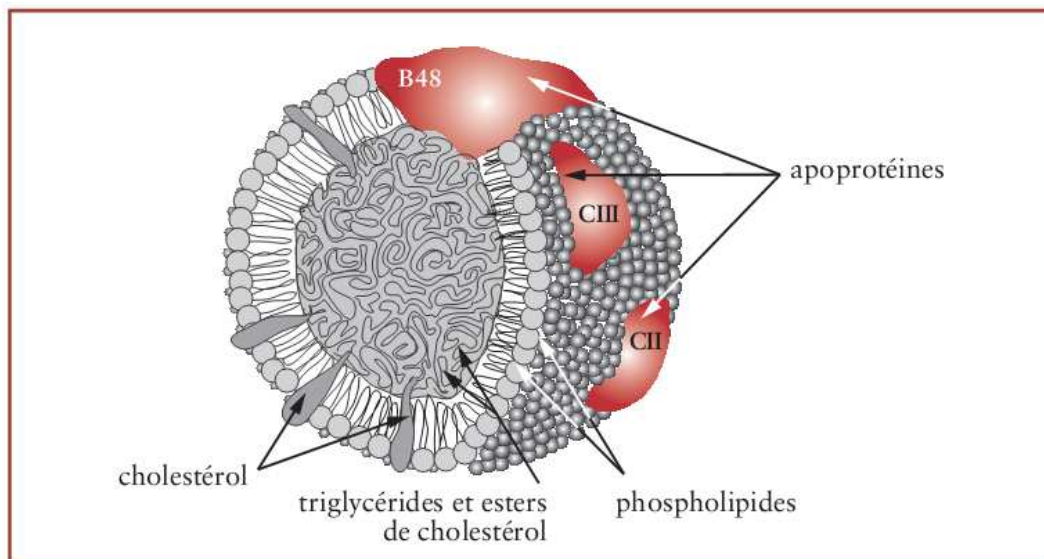


Figure 19 : Représentation schématique d'une lipoprotéine : chylomicron (Sablonnière, 2006)

1.7 Les eicosanoïdes

Les Eicosanoïdes sont des molécules-signaux lipidiques basés sur un squelette à 20 atomes de Carbone, impliqués dans un grand nombre de processus physiologiques et pathologiques (inflammation, douleur,...) (Mengual, 2012).

Ils sont synthétisés à partir d'Acides Gras Polyinsaturés à 20 Carbones (en grec eikosi = 20) dans presque toutes les cellules de l'organisme. Il existe 2 grandes familles d'Eicosanoïdes :

- Les prostanoïdes, subdivisés en : prostaglandines, prostacyclines et thromboxanes,
- Les leucotriènes.

Les précurseurs des Eicosanoïdes sont des Acides Gras de la famille des n-3 ou n-6.

2. Rôles physiologiques et impacts sur la santé des AG alimentaires

2.1 Rôles physiologiques des acides gras

Après leur absorption au niveau de l'intestin, les acides gras sont redistribués dans l'organisme. La partie qui n'est pas immédiatement utilisée est stockée par le tissu adipeux qui les libère en fonction des besoins ultérieurs, qu'ils soient énergétiques, structuraux ou fonctionnels (Colette et Monnier, 2011).

2.1.1 Les acides gras saturés (AGS)

Les AG saturés (AGS) sont synthétisés par l'Homme (comme par tous les organismes vivants), en particulier dans le foie, le cerveau et le tissu adipeux. L'acide palmitique (C16:0) est le plus intensément synthétisé. Les AGS à plus longue chaîne sont produits en moindre quantité par élongation dans les tissus et les AGS plus courts sont synthétisés par la glande mammaire en lactation. En plus de leur origine endogène, les AGS sont apportés abondamment par l'alimentation (Legrand, 2007).

Il est maintenant bien démontré que les AGS ont des origines, des métabolismes et des fonctions différentes et qu'on ne doit surtout pas les considérer comme un ensemble homogène (Legrand et Rioux, 2010).

Le plus court des AGS est l'acide butyrique (C4:0). Son action positive a été démontrée sur l'entrée en apoptose de plusieurs types de cellules tumorales. Ceci constitue sans doute une explication de son rôle avéré protecteur contre le développement du cancer colorectal (Wang et *al.*, 2006).

Les AGS à chaîne moyenne (C6:0 acide caproïque, C8:0 acide caprylique, C10:0 acide caprique) constituent un groupe particulier et intéressant. En effet, leur principale caractéristique physiologique (en rapport avec leur présence dans le lait des mammifères) est le fait qu'ils passent obligatoirement par le foie où ils peuvent être directement oxydés faisant d'eux de rapides pourvoyeurs d'énergie, tandis que les AG à longue chaîne empruntent le circuit lymphatique puis la circulation générale après intégration dans les chylomicrons, ce qui leur donne la possibilité de se déposer dans le tissu adipeux et une moindre possibilité d'être catabolisé dans le foie (Bach et Babayan, 1982). Ceci semble expliquer le rôle neutre de ces AGS à chaînes moyennes voire plutôt protecteur contre l'adiposité (Nosaka et *al.*, 2003).

Une explication complémentaire est probablement l'effet inhibiteur de l'acide caprylique (C8:0) sur la synthèse hépatique de l'apolipoprotéine B nécessaire à la sécrétion des VLDLs (very low density lipoproteins) hépatiques (Tachibana et *al.*, 2005).

Les AGS à longue chaîne (C>10) sont les plus abondants dans l'alimentation. Ce sont les acides laurique (C12:0), myristique (C14:0), palmitique (C16:0) et stéarique (C18:0). Ces AGS sont tout d'abord des constituants des triglycérides de réserve et assurent à ce titre une part importante de l'apport énergétique. Ils sont également des constituants des phospholipides. Dans les membranes, ce sont les AGS des sphingolipides qui assurent, aux côtés du cholestérol, l'établissement de zones rigides (radeaux lipidiques et cavéoles) nécessaires aux activités des enzymes, transporteurs et récepteurs qui s'y trouvent. Les sphingolipides sont en outre directement impliqués dans la croissance et la différenciation cellulaire, dans le déclenchement de l'apoptose et dans la réponse au stress (Legrand, 2007).

Les AGS à longue chaîne sont en partie convertis par désaturation en AG mono-insaturés, mais avec une efficacité significativement différente et croissante avec la longueur de chaîne. L'acide myristique a dans la cellule un avenir court et en tous cas disparaît plus vite que l'acide palmitique (Rioux et *al.*, 2000).

L'acide myristique a également un rôle fonctionnel majeur pour la cellule : il acyle (myristoylation) un nombre important de protéines, permettant leur l'insertion dans la membrane, conférant à l'acide myristique le rôle d'ancre hydrophobe. Par ailleurs, l'acide myristique a aussi la capacité d'activer les désaturases (dans la cellule animale et humaine), enzymes dont le rôle est d'incorporer des doubles liaisons au cours de la synthèse des AG insaturés à très longue chaîne à partir de leur précurseur (acides linoléique et α -linoléique) (Legrand, 2007).

Notons enfin que certains AGS à très longue chaîne (C>18) occupent une place importante dans la structure des membranes nerveuses, notamment dans la myéline (Astrog et *al.*, 2011).

2.1.2 Les acides gras mono-insaturés (AGMI)

Comme les acides gras saturés, et à la différence des acides gras polyinsaturés essentiels, les acides gras mono-insaturés proviennent d'une part de la synthèse endogène (chez l'homme comme chez quasiment tous les êtres vivants) et d'autre part de l'alimentation.

Leur synthèse endogène est réalisée par la $\Delta 9$ désaturase qui introduit une double liaison sur l'acide palmitique et sur l'acide stéarique conduisant respectivement à l'acide palmitoléique (C16:1 n-7) et à l'acide oléique (C18:1 n-9), pour ce qui concerne les deux principaux. L'acide oléique est activement synthétisé par les cellules et très abondant dans les aliments d'origine végétale et animale. Il représente la quasi-totalité des AGMI en nutrition humaine (Astrog et *al.*, 2011).

Les acides gras mono-insaturés sont utilisés comme source d'énergie. Ils sont également estérifiés dans tous les types de lipides, en particulier dans les triglycérides de dépôt (tissu adipeux) qu'ils maintiennent, grâce à leur mono-insaturation, à l'état fluide à la température du corps. Il est à noter que les dérivés à très longues chaînes de l'acide oléique, notamment à 24 atomes de carbone, sont importants dans les structures cérébrales, en particulier dans la myéline (Delplanque, 2002).

Enfin, comme pour les AGS et AGPI, l'acide oléique est un constituant des phospholipides membranaires et participe à la modulation de l'activité des enzymes, des transporteurs et des récepteurs (Astrog et *al.*, 2011).

2.1.3 Les acides gras poly-insaturés (AGPI)

Les Rôles physiologiques majeurs exercés par les 2 familles $\omega 6$ et $\omega 3$ sont résumés dans le tableau 5 (Astrog et *al.*, 2011).

Tableau 5 : Rôles physiologiques majeurs exercés par les AGPI n-6 et n-3 (Astrog et *al.*, 2011)

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

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

Certains de ces acides gras (l'acide arachidonique pour la famille n-6 et l'EPA pour la famille n-3) sont (via les cyclooxygénases et lipoxygénases) les précurseurs de médiateurs lipidiques oxygénés hautement spécifiques (eicosanoïdes : prostaglandines, thromboxanes...) (figure 20). Ils modulent de très nombreuses fonctions cellulaires, pouvant produire selon la famille considérée (n-3 ou n-6) des effets tantôt complémentaires et tantôt opposés (Hanafiah *et al.*, 2007).

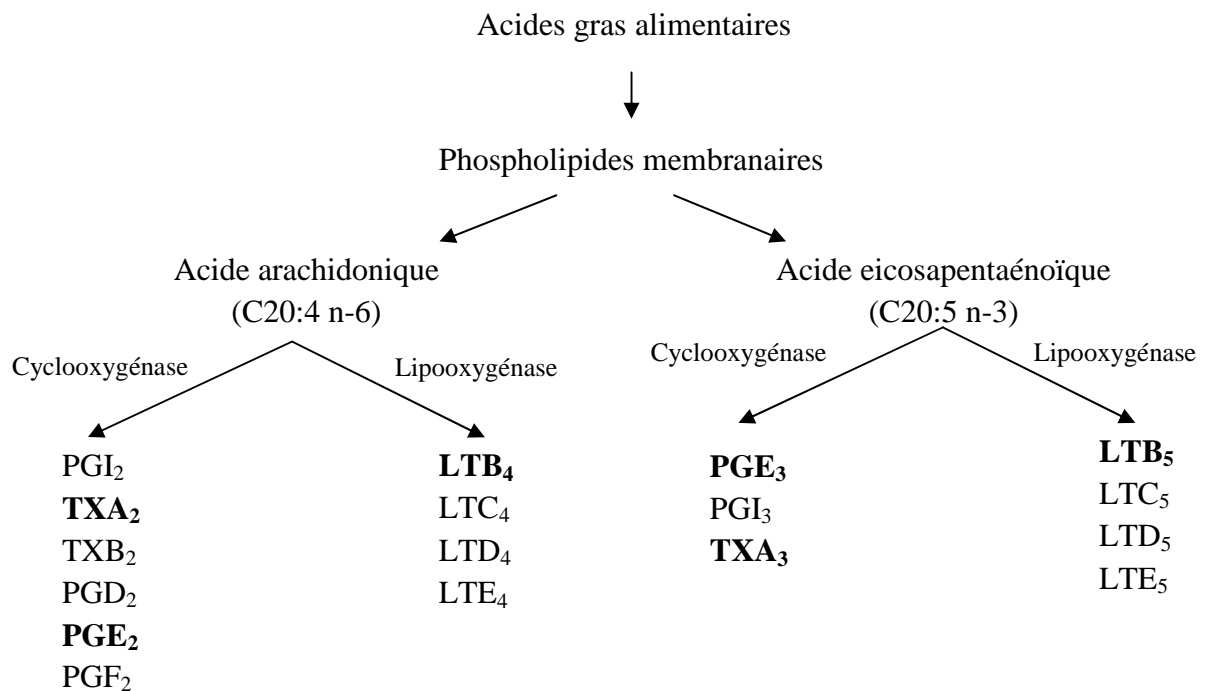


Figure 20 : Synthèse des éicosanoïdes à partir de l'acide arachidonique et l'EPA (Teitelbaum et Walker, 2001 ; Hanafiah *et al.*, 2007)

Schématiquement les acides gras oméga-6 en excès conduisent à la production de prostaglandines proagrégantes (TXA₂) et pro-inflammatoires (PGE₂), et de leucotriènes pro-inflammatoires (LTB₄), tandis que les acides gras oméga-3 conduisent à la production de prostaglandines anti-agrégantes (PGE₃) ou neutres (TXA₃), ou de leucotriènes peu inflammatoires (LTB₅). Ceci rend compte de l'importance du rapport oméga-6/oméga-3 dans la production des éicosanoïdes, (prostaglandines sous l'effet de la cyclo oxygénase, leucotriènes sous l'effet de la lipoxygénase) (Lecerf, 2007).

Enfin, n'oublions pas que les acides gras polyinsaturés sont (comme tous les acides gras) des combustibles énergétiques (Legrand, 2007).

2.1.4 Les acides gras *trans* (AGT)

Comme tout acide gras, les acides gras *trans*, conjugués ou non entrent dans toutes les voies métaboliques, telles que l'oxydation et les bioconversions, ainsi que dans les lipides circulants et les phospholipides membranaires. Ils interfèrent avec le métabolisme des autres acides gras. Il est intéressant de noter que les AG *trans* diminuent généralement la bioconversion des acides gras essentiels. En effet, La consommation de 18:1 *trans* pourrait aboutir chez l'Homme à une diminution de la synthèse des eicosanoïdes aux conséquences multiples et antagoniques (Léger et Razanamahefa, 2005).

2.2 Acides gras et santé

2.2.1 Obésité et syndrome métabolique

2.2.1.1 Obésité et surpoids

Il existe une relation étroite entre surpoids (IMC compris entre 25 et 29,9 kg/m²) et obésité (IMC \geq 30 kg/m²) (Astrog et *al.*, 2011).

Le déséquilibre alimentaire, en faveur d'un apport énergétique supérieur aux dépenses de l'organisme, débouche sur un excès de masse grasse et sur le développement de l'obésité. Cet excès de masse grasse peut résulter d'une hyperplasie des adipocytes (augmentation du nombre de cellules), d'une hypertrophie (augmentation de la taille des cellules) ou d'une combinaison des deux phénomènes. Lors d'un apport lipidique accru sur le long terme, l'accumulation de lipides dans l'adipocyte ne peut excéder un certain volume (hypertrophie). Il y a alors formation de nouveaux adipocytes (hyperplasie) sous l'effet de l'activation par les AG de certains facteurs régulant la différenciation adipocytaire. Les AG alimentaires se comportent comme de véritables hormones adipogéniques actives sur les préadipocytes. Ces observations ont permis d'établir un lien entre lipides alimentaires, flux d'AG, et formation d'adipocytes (Walrand et *al.* 2010 ; Persinet, 2011).

Le rôle de la balance énergétique dans le contrôle du poids n'est cependant pas exclusif, soulevant l'hypothèse du rôle de facteurs nutritionnels qualitatifs tels que la nature des AG. A titre d'exemple, la sédentarité et la surcharge énergétique ne peuvent expliquer à elles seules l'augmentation de la prévalence d'obésité chez les nourrissons américains âgés de 6 à 11 mois (Astrog et *al.*, 2011).

L'étude EPIC (European Prospective Investigation into Cancer et Nutrition : vaste étude entreprise en matière de régime alimentaire et de santé, s'adressant à des milliers de personnes dans dix pays européens) rapporte une faible association, uniquement chez les femmes, entre le type d'AG et la variation de poids : la prise de poids est inversement associée à la consommation d'AGS et positivement associée au ratio AGPI/AGS (Forouhi et *al.*, 2009). Par ailleurs, des travaux chez l'adulte montrent que tous les AGS n'ont pas le même effet sur la prise de poids : les AGS à chaîne courte et moyenne n'augmentent pas le poids corporel, voire le réduisent dans certaines conditions, par rapport aux AG à longue chaîne, à l'acide linoléique ou à l'acide oléique (Nosaka et *al.*, 2003; St-Onge et Bosarge, 2008). Cette relation peut être attribuée au fort catabolisme hépatique des AGS à chaîne courte et moyenne.

Concernant les AGPI, certains auteurs font l'hypothèse d'un effet adipogénique des AGPI n-6, basée notamment sur l'augmentation de la prévalence de l'obésité et celle de la teneur en LA dans le lait maternel et les préparations pour nourrissons. En effet, la teneur en cet acide gras a régulièrement augmenté entre 1950 et 1990 dans le lait maternel, atteignant 16% des AG totaux, alors que la teneur en ALA est restée constante à 1–3%. Les préparations pour nourrissons ont été, en France, modifiées avec un remplacement partiel de la matière grasse laitière saturée à partir de 1976 (Ailhaud et *al.*, 2006).

L'équilibre énergétique est le déterminant essentiel de la prise de poids : l'apport lipidique total peut jouer un rôle en contribuant aux apports énergétiques mais il ne semble pas impliqué dans l'épidémie d'obésité au niveau des populations (Willet et *al.*, 2002, Forouhi et *al.*, 2009). En effet, la prévalence de l'obésité a augmenté tandis que le pourcentage moyen de lipides ingérés a diminué dans le régime alimentaire des pays occidentaux (Bergouignan et *al.*, 2010). Au niveau individuel, des niveaux d'apport supérieurs à 40 % de l'AE peuvent, probablement en interaction avec des facteurs génétiques, favoriser la prise de poids. Par ailleurs, la restriction glucidique entraîne une perte de poids plus efficace que la restriction lipidique (Willet, 2011).

2.2.1.2 Syndrome métabolique

2.2.1.2.1 Définition du syndrome métabolique

Selon la Fédération internationale du diabète et l'OMS, une personne présente un syndrome métabolique si elle souffre d'une obésité abdominale (tour de taille supérieur ou égal à 94 cm pour les hommes et supérieur ou égal à 80 cm pour les femmes), associée à plus

de deux des quatre facteurs suivants : taux élevé de triglycérides plasmatiques, réduction de la concentration sanguine du HDL cholestérol, augmentation de la pression artérielle, et une glycémie plasmatique à jeun élevée. Sa prévalence atteint, selon les études et les pays, 15 à 40 % de la population générale (Castetbon et *al.*, 2008).

Les sujets atteints du syndrome métabolique ont un risque trois fois plus élevé de développer une atteinte coronarienne ou un accident vasculaire cérébral (AVC), et présentent un doublement de la mortalité cardiovasculaire comparativement à des sujets appariés ne présentant pas ce syndrome (Walrand et *al.*, 2010).

2.2.1.2.2 Effets de la nature des acides gras

Différentes études expérimentales ont montré qu'une augmentation de l'ingestion d'AGS peut conduire au développement du syndrome métabolique. A titre d'exemple, une consommation accrue et régulière d'AGS est associée à une accumulation adipeuse, notamment au niveau abdominal, chez l'animal. L'ingestion chronique d'AGS a également été associée à une altération des voies intracellulaires régulant l'action de l'insuline dans différents tissus comme le muscle squelettique et le foie (Shulman, 2000). Or la dérégulation de l'homéostasie glucidique est un facteur clé dans le développement du syndrome métabolique. De même, il a été récemment montré que le traitement d'hépatocytes en culture par du palmitate provoquait une accumulation intracellulaire de dérivés lipidiques dont les effets sont délétères pour la voie de l'insuline (céramides) (Joshi-Barve et *al.*, 2007). D'autres études expérimentales montrent très clairement qu'une surconsommation d'AGS diminue les capacités de sécrétion de l'insuline par les îlots β du pancréas et affecte, par conséquent, l'homéostasie glucidique (Walrand et *al.*, 2010).

En ce qui concerne l'insulino-résistance (et le syndrome métabolique), il apparaît que des apports lipidiques totaux compris entre 20 et 40 % de l'apport énergétique l'influencent peu. Des études suggèrent néanmoins une diminution de la sensibilité à l'insuline pour des apports très élevés, supérieurs à 50 % (Lovejoy et *al.*, 1998). De même, plusieurs études épidémiologiques transversales et longitudinales ont mis en évidence une augmentation du risque de syndrome métabolique pour des apports lipidiques dépassant 40 % de l'AE (Brunner et *al.*, 2001).

2.2.1.3 Le diabète

Selon l'ADA (American Diabetes Association) et l'EASD (European Association for the Study of Diabetes) : « Le diabète est défini par l'existence d'une glycémie à jeun supérieure ou égale à 1,26 g/l contrôlé à deux reprises ou une glycémie post-prandiale (après deux heures), supérieure ou égale à 2 g/l contrôlée à deux reprises. On parle d'intolérance au glucose lorsque la glycémie à jeun est comprise entre 1,10 et 1,26 g/l » (Danet, 2005).

Lorsque l'utilisation du glucose est insuffisante malgré l'hyperinsulinémie secondaire à l'insulinorésistance, l'intolérance au glucose puis le diabète de type 2 s'installent, avec ou sans d'autres composantes du syndrome métabolique, avec ou sans obésité. La sédentarité et les facteurs alimentaires sont des facteurs étiopathogéniques bien établis dans la survenue du diabète de type 2 (Astrog et *al.*, 2011).

L'étude ARIC (Atherosclerosis Risk in Communities Study) a examiné le lien entre les AG plasmatiques et la survenue du diabète (Wang et *al.*, 2003). L'incidence du diabète est associée à une teneur accrue en AGS dans les esters de cholestérol et dans les phospholipides plasmatiques. L'incidence du diabète est :

- positivement associée à la proportion d'acide palmitique, palmitoléique, dihomoglycolinoléique et inversement corrélée à la teneur en LA dans les esters de cholestérol,
- positivement associée à la proportion d'acide palmitique et d'acide stéarique dans les phospholipides.

Par ailleurs, Krachler et *al.*, 2008 ont quantifié les AG des phospholipides des membranes erythrocytaires. Une proportion élevée de C15:0 et C17:0 (AG marqueurs de la consommation de matière grasse laitière) est associée à une diminution du risque, tandis que des proportions élevées d'acide palmitoléique (C16:1 n-7), d'acide dihomogammalinoléique (C20:3 n-6), d'acide adrénique (C22:4 n-6) sont associées à un risque accru.

En ce qui concerne les AGPI-LC n-3, plusieurs études ont évalué leurs effets sur les facteurs de risque cardiovasculaire chez les diabétiques avec des résultats similaires à ceux des sujets non diabétiques (Hartweg et *al.*, 2007). Il apparaît que les AGPI-LC n-3 n'affectent pas l'équilibre glycémique chez ces patients comme cela a pu être évoqué par le passé (Astrog et *al.*, 2011).

2.2.2 Maladies cardiovasculaires (MCV)

Les maladies cardio-vasculaires sont la première cause de mortalité dans le monde : il meurt chaque année plus de personnes en raison de maladies cardio-vasculaires que de toute autre cause. On estime à 17,3 millions le nombre de décès imputables aux maladies cardio-vasculaires, soit 30% de la mortalité mondiale totale. Parmi ces décès, on estime que 7,3 millions sont dus à une cardiopathie coronarienne et 6,2 millions à un AVC (statistiques 2008). Plus de 80% des décès interviennent dans des pays à revenu moyen ou faible et touchent presque également hommes et femmes (OMS, 2011).

Aujourd'hui les maladies cardiovasculaires sont pour une grande part liées aux conséquences de l'athérosclérose, de la thrombose, de l'hémorragie (surtout au niveau vasculaire cérébral) et de la mort subite (par thrombose ou surtout par troubles du rythme). Une part minime des maladies cardiovasculaires est d'origine infectieuse, congénitale (génétique ou non), toxique, traumatique...(Astrog et *al.*, 2011).

2.2.2.1 Effet des acides gras saturés

Les anciennes études épidémiologiques d'observation réalisées dans des populations à forts apports en AGS (jusqu'à 21 % de l'AE dans l'étude des 7 pays : -États-Unis, Finlande, Grèce, Italie, Japon, Pays-Bas et ex-Yougoslavie- ont montré qu'un apport excessif en AGS est associé à un risque coronarien accru alors qu'une alimentation pauvre en AGS et riche en AGMI et plus encore en AGPI, est associée à une faible mortalité coronarienne (Walrand et *al.*, 2010). Cette association observée avec des niveaux d'apport élevés pourrait s'expliquer par une élévation du cholestérol-LDL, mais les AGS augmentent aussi le cholestérol-HDL, considéré comme facteur protecteur. Par ailleurs, chez les sujets ayant une maladie cardiovasculaire, une réduction de l'apport en AGS, sans perte de poids, au bénéfice d'un apport glucidique accru, n'est pas favorable sur l'athérosclérose coronarienne (Astrog et *al.*, 2011).

Finalement, une récente méta-analyse conclut à l'absence d'association entre les apports en AGS et le risque de maladies cardiovasculaires et coronariennes. Soulignons qu'il n'y a pas d'étude d'intervention réalisée spécifiquement avec les AGS. En effet, toutes les études

disponibles font varier également d'autres AG et en particulier les AGPI (Lecerf, 2008 ; Fumeron, 2010).

Les études récentes suggèrent fortement de distinguer les AG athérogènes en cas d'excès (acides palmitique, myristique et laurique) des autres (AG à chaîne courte et moyenne, acide stéarique) (Dallongeville et *al.*, 2008 et Legrand, 2010). En effet, une corrélation positive existe entre les acides laurique (C12:0), myristique (C14:0) et palmitique (C16:0) et la cholestérolémie (Lecerf, 2007 et Walrand et *al.*, 2010). Une baisse de la cholestérolémie peut s'observer suite à une réduction de la teneur en ces 3 AGS de 13 à 6,5 % de l'apport énergétique et de 16,7 à 8,4 % en substitution par des AGPI (Astrog et *al.*, 2011).

La plupart des études s'intéressant à l'effet de l'acide palmitique sur les marqueurs lipidiques sanguins ont observé une augmentation importante des taux de LDL-cholestérol suite à une ingestion chronique de cet AGS (Walrand et *al.*, 2010).

L'acide stéarique n'a pas d'effet hypercholestérolémiant, voire abaisse le cholestérol-LDL, de façon comparable à l'acide oléique (Mensink, 2005). Cette particularité peut s'expliquer par le fait que, chez l'animal, l'acide stéarique est activement converti en acide oléique par désaturation. Certains auteurs proposent donc que l'acide stéarique, considéré comme neutre, soit séparé des autres AGS dans les équations prédictives sur le cholestérol plasmatique (Astrog et *al.*, 2011).

Les AGS à courte chaîne (moins de 12 atomes de carbone) sont présents en faibles quantités dans notre alimentation. Ils constituent une spécificité des produits laitiers. Ils semblent neutres vis-à-vis des concentrations sanguines du LDL-cholestérol, du HDL-cholestérol et des TG. Ces AGS semblent être rapidement utilisés pour fournir de l'énergie et ne pas avoir de réel impact direct sur le métabolisme lipidique. Il conviendrait donc, comme pour l'acide stéarique, que les AGS à chaîne courte et moyenne soient séparés des autres AGS (Walrand et *al.*, 2010 ; Astrog et *al.*, 2011).

Il faut noter que l'acide myristique occupe une place particulière, pouvant même exercer un rôle hypocholestérolémiant à dose alimentaire ; sachant que, par ailleurs, il se fixe sur plusieurs dizaines de protéines, leur conférant leurs fonctions métaboliques ou physiologiques (Walrand et *al.*, 2010).

Concernant les AGS à longue chaîne (plus de 18 atomes de carbone), leur présence dans l'alimentation est très faible, rendant négligeable leur contribution à l'apport total en corps

gras. De plus, leur absorption intestinale est réduite, car ils présentent un point de fusion élevé. Aussi, aucun effet sur les lipides plasmatiques n'a été montré concernant ce type d'AGS (Dubois et *al.*, 2007).

Même si beaucoup d'études sur les animaux ont observé un effet de la position des AGS au sein des TG alimentaires sur le développement de l'hypercholestérolémie, avec un effet plus marqué lorsque l'AGS est situé en position interne, ces données ont été contredites chez l'homme chez qui il a été démontré que les AGS étaient assimilés de la même façon et possédaient les mêmes effets métaboliques quelle que soit leur position. Ainsi, la nature des AGS alimentaires a un effet plus important sur la dérégulation du bilan lipidique que leur position au sein des TG (Walrand et *al.*, 2010).

Chez l'homme, la réduction des apports lipidiques et des AGS, si elle est assortie d'une augmentation des glucides, conduit à une augmentation des LDL petites et denses, plus oxydables et plus athérogènes (Lecerf, 2008 ; Astrog et *al.*, 2011).

2.2.2.2 Effets des acides gras monoinsaturés

Les études réalisées ont montré que comparativement aux glucides et aux acides gras polyinsaturés, l'ingestion d'acides gras monoinsaturés s'accompagne d'une augmentation du ratio HDL sur LDL-cholestérol, d'une diminution des triglycérides et d'une augmentation du HDL-cholestérol (Dallongeville, 2008).

Elles suggèrent également que l'acide oléique exerce un effet favorable sur le profil lipidique en remplacement d'un excès d'AGS (Astrog et *al.*, 2011).

Les acides gras monoinsaturés ne sont pratiquement représentés que par l'acide oléique : celui-ci a bénéficié de l'image bénéfique favorable de l'huile d'olive, contenant 70 % d'acide oléique, et de celle non moins favorable du régime méditerranéen. Toutefois une part des effets favorables de l'huile d'olive sur les fonctions endothéliales, l'inflammation, l'agrégation plaquettaire, et peut-être même sur le cholestérol HDL relève de la fraction non lipidique (insaponifiable...) de l'huile d'olive vierge. Quant au régime méditerranéen sa composition et ses effets sont trop complexes pour ne relever que de sa composition en acides gras (Ratnayake et *al.*, 2007 ; Lecerf, 2008).

2.2.2.3 Effets des acides gras polyinsaturés

2.2.2.3.1 Effets des n-6

Un très faible apport en acide linoléique est défavorable sur le plan du risque cardiovasculaire tandis qu'un apport excessif l'est également. De plus, des apports élevés (>5% de l'AE) induisent un rapport n-6/n-3 trop élevé (> 5). Sur la base des études d'observation il existe donc des arguments pour considérer que l'acide linoléique est bénéfique pour des apports modérés et suffisants. Ceux-ci se situent entre 3 et 5 % de l'AE. De plus, le bénéfice observé sur la morbidité cardiovasculaire (mais pas sur la mortalité) dans certaines études d'intervention ne peut pas être dissocié de la suppression des AG trans, de la réduction des apports en AGS lorsqu'ils sont excessifs et de la présence d'acide α -linoléique (voire d'EPA et de DHA) dont l'apport n'a pas été pris en compte dans la plupart des études épidémiologiques concernant l'acide linoléique, ce qui a conduit à surestimer son rôle et son besoin. En l'absence d'étude d'intervention probante permettant de valider un niveau d'apport en acide linoléique, il n'y a pas lieu de recommander des apports en acide linoléique au-delà de 5% de l'AE en termes de prévention du risque cardiovasculaire. Ceci est fortement confirmé par une très récente méta-analyse (Astrog *et al.*, 2011).

2.2.2.3.2 Effets des n-3

Au milieu des années 1970, plusieurs études épidémiologiques ont suggéré que les Esquimaux du Groenland bénéficiaient d'une protection relative contre l'athérosclérose en raison d'une forte consommation d'animaux marins : poissons, phoques, baleines (Monnier, 2011).

Quelques années plus tard, et pendant les décennies qui suivirent, d'autres études épidémiologiques et des essais d'interventions nutritionnelles ont fourni des preuves substantielles en faveur d'une relation entre la réduction de l'incidence des maladies cardiovasculaires (MCV), qu'elles soient mortelles ou non, et les apports alimentaires en acides gras n-3, avec une mention particulière pour les acides éicosapentaénoïque (EPA) et docosahexaénoïque (DHA) (Bucher *et al.*, 2002 ; Mozaffarian et Wu., 2011).

Dans une optique de santé publique, la prévention primaire des MCV semble meilleure avec une supplémentation en acides gras n-3 à chaîne longue et très désaturés (EPA + DHA), qu'avec une supplémentation faisant appel à leur précurseur : l'acide α -linoléique (Erkkilä et

al., 2008 ; Lopez-Huertas, 2010). En effet, les données récentes montrent une conversion modérée de l'ALA en EPA, et très faible en DHA (Astrog et *al.*, 2011).

Les recommandations quotidiennes sont habituellement fixées à 500 mg pour la somme de l'EPA et du DHA. En prévention cardiovasculaire secondaire, les apports et les doses recommandées d'EPA + DHA semblent être plus élevés : 3 à 4 grammes par jour. Dans cette dernière situation, la supplémentation atteint des niveaux pharmacologiques et devrait être menée avec des préparations médicamenteuses enrichies en n-3 (Monnier, 2011).

2.2.2.3.3 Rôle du rapport n-6/n-3

Le rapport LA/ALA est souvent évoqué. En effet, les acides linoléique et α -linoléique partagent des voies métaboliques communes de désaturation et d'élongation et sont en compétition pour les enzymes assurant leur conversion en leurs produits respectifs : acide arachidonique n-6 et EPA (Falinska et *al.* 2012). La conversion de ces produits en eicosanoïdes, prostaglandines et docosanoïdes, largement impliqués dans les processus d'athérosclérose, dépend donc en partie de la proportion relative de ces deux précurseurs (Astrog et *al.*, 2011).

Cependant, une récente étude clinique a montré que le taux de conversion de l'ALA en ses dérivés à longue chaîne était déterminé par les quantités d'ALA et de LA dans les régimes, indépendamment de leur rapport (Goyens et *al.*, 2006). Ainsi, ce rapport n'a pas beaucoup d'intérêt dès lors que les apports en acides linoléique et α -linoléique sont adéquats (Erkkilä et *al.*, 2008). Néanmoins, il prend de l'importance 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 s'il s'y ajoute un déficit simultané d'apport en EPA et DHA (Astrog et *al.*, 2011).

2.2.2.4 Effets des acides gras *trans* et CLA

Un risque accru d'événements cardiovasculaires est associé aux AG *trans* d'origine technologique et aux AG *trans* totaux à des niveaux élevés de consommation (plus de 1,5 % et 2 % de l'AE, respectivement) (Morin, 2005 ; Erkkilä et *al.* 2008). A ces niveaux, les AG *trans* issus des ruminants ne montrent pas d'effets négatifs sur les biomarqueurs lipidiques du

risque cardiovasculaire, et ne sont pas associés à une augmentation de ce risque dans les études épidémiologiques (Lecerf, 2008).

Il apparaît que l'effet des AG trans (=monoènes trans) sur l'accroissement du C-LDL est comparable à celui des AGS connus pour être hypercholestérolémiant, avec les nuances suivantes :

- effet légèrement inférieur à celui des acides laurique (12 :0) et myristique (14:0) ;
- l'acide stéarique (18:0) n'induit pas d'augmentation du cholestérol-LDL (C-LDL). Les AG trans sont hypercholestérolémiant par rapport à l'acide stéarique (Ledoux et *al.*, 2002) ;
- Comparé à l'acide palmitique, les AG trans alimentaires n'augmentent pas le cholestérol-HDL (C-HDL). En conséquence, la consommation d'AG trans induit une élévation du rapport d'athérogénicité cholestérol total/ cholestérol-HDL (CT/ C-HDL) plus importante que l'acide palmitique. Les AG trans sont plus athérogènes que l'acide palmitique (Dallongeville et *al.*, 2008 ; Astrog et *al.*, 2011).

Concernant l'effet des CLA sur les facteurs de risque de l'athérosclérose et la formation des plaques d'athérome, l'isomère 9c,11t paraît améliorer le profil des marqueurs sanguins (cholestérol, triglycérides) dans certaines espèces dont l'Homme, mais des effets négatifs ont été observés, en particulier vis-à-vis de l'insulino-résistance. L'étude de Tricon (2004) montre que le 18:2 9c,11t et le 18:2 10t,12c ont des effets opposés sur le profil lipoprotéique ; l'isomère 10t,12c augmente les rapports C-LDL / C-HDL et CT / C-HDL, l'isomère 9c,11t les diminue. Cependant aucun effet dose n'a pu être mis en évidence (Ratnayake et *al.*, 2007 ; Astrog et *al.*, 2011).

2.2.3 Système nerveux central (SNC)

Le cerveau est connu pour être le tissu dans lequel les principaux AGPI des familles $\omega 3$ et $\omega 6$ sont les plus représentés puisque leur proportion dans les phospholipides cellulaires peut atteindre 60 % des acides gras totaux. Chez l'homme, la croissance du cerveau se poursuit jusqu'à l'âge de 2 ans et la myélinisation n'est achevée qu'à l'âge de 4 ans. Les acides gras s'accumulent dans le cerveau pendant cette période pour répondre aux besoins de croissance et de multiplication cellulaire, à la prolifération des connexions synaptiques et à la myélinisation des axones (Astrog et *al.*, 2011).

Selon Youyou *et al.*, 1986, une carence en acide linoléique provoquerait de graves anomalies dans la composition en acides gras des cellules et organites du cerveau, dont les vitesses de récupération seraient extrêmement lentes, sur une durée estimée à plusieurs mois. Il a été démontré, par la suite, que cette carence altérerait le cours du développement cérébral, perturberait la composition et la physico-chimie des membranes des cellules du cerveau (Gomez –Merino et Portero, 2008).

Les acides gras $\omega 3$ doivent être apportés à la mère en cours de gestation, puis au nouveau né. Il faut noter que le lait humain contient des quantités non négligeables d'acide linoléique, mais aussi de DHA, qui sont souvent absents des laits artificiels (Bourre *et al.*, 1988).

Une étude récente montre une relation significative entre la consommation de poisson et la santé mentale sur une population de 4 644 personnes âgée de 15 ans et plus, soutenant indirectement l'hypothèse que les acides gras $\omega 3$ agissent comme stabilisateurs de l'humeur (Féart *et al.*, 2008). Plusieurs études ont également montré que les AGPI $\omega 3$ pourraient être efficaces dans la prévention de certaines affections neuropsychiatriques, dont la dépression, mais aussi la démence, notamment celle de la maladie d'Alzheimer (Maes *et al.*, 2000 ; Mathieu *et al.* 2011).

2.2.4 Cancers

Au cours de la prolifération, les cellules normales ou transformées intègrent dans leurs membranes les AG disponibles, essentiellement d'origine alimentaire. La nature des AG constitutifs des phospholipides de la membrane influence profondément l'état physique de la membrane.

2.2.4.1 Effet des lipides totaux

Les risques de cancers humains ne sont que peu liés à la teneur en lipides du régime. Une recommandation pour éviter la consommation de lipides en trop grande quantité peut néanmoins avoir un effet favorable sur le risque de cancers, notamment chez la femme, si elle contribue à éviter les déséquilibres positifs de la balance énergétique (Astrog *et al.*, 2011).

2.2.4.2 Effet des AGS

Dans certains modèles expérimentaux (tumeurs mammaire ou colique), l'apport en AG saturés favorise la croissance tumorale. Dans les études épidémiologiques, une augmentation modérée du risque de cancer avec les apports élevés en AG saturés n'est observée de façon reproductible que pour le cancer du sein chez la femme ménopausée. Il est possible que cet effet soit en partie confondu avec celui des lipides totaux (Astrog et *al.*, 2011).

2.2.4.3 Effet des AGMI

Dans les modèles expérimentaux, les AGMI n'exercent pas, en général, d'effet promoteur. Dans la plupart des études épidémiologiques d'observation, l'apport en ces AG (constitués d'acide oléique pour plus de 95 %) n'est pas associé aux risques de cancers de la prostate et du côlon/rectum. Les études épidémiologiques sur le cancer du sein donnent des résultats divergents. Au total, il n'y a pas de données suffisantes pour suggérer une influence significative et spécifique de l'apport en AGMI (ou en acide oléique) sur le risque de cancers (Bougnoux et *al.*, 1996).

2.2.4.4 Effet des AG trans et isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA)

Les études épidémiologiques, peu nombreuses et contradictoires, ne permettent pas de conclure à un effet, bénéfique ou néfaste, de l'apport alimentaire d'AG trans totaux, en 18:1 trans, en 18:2 trans (isomères non conjugués) sur les différentes formes de cancer étudiées (Morin, 2005).

Un effet inhibiteur, en particulier de l'acide ruménique (9c,11t), sur l'apparition et le développement de ces tumeurs a été mis en évidence (El Roz et *al.*, 2011). Il en est de même de l'acide vaccénique (18:1-11 trans), le précurseur monoinsaturé de l'acide ruménique, alors que d'autres AG trans n'ont pas d'effet. Cet effet ne paraît pas trouver son équivalent dans les études humaines (Morris, 2004). Il faut également remarquer que l'effet observé est obtenu pour des apports prolongés et très élevés, de l'ordre de 0,5 à 2 % des apports alimentaires totaux, ce qui peut correspondre à des niveaux d'apport de 5 à 10 g/j chez l'Homme. Les mécanismes ne sont pas identifiés, et sont probablement indirects et multiples (Gerber et Bougnou, 2005).

2.2.4.5 Effet de l'acide linoléique

Des régimes riches en acide linoléique stimulent la croissance tumorale dans les modèles expérimentaux de cancers, notamment les carcinomes mammaires, du côlon et de la prostate, à travers des mécanismes assez largement connus (par exemple, les eicosanoïdes métabolites de l'acide arachidonique favorisent la progression et la dissémination métastatique des tumeurs). En revanche, les études épidémiologiques d'observation, qu'elles soient basées sur des questionnaires alimentaires ou sur des biomarqueurs sanguins, ne mettent pas en évidence d'association reproductible entre l'apport en acide linoléique ou sa teneur dans le sang et les risques de cancers humains. Cependant, une étude cas-témoins fondée sur la teneur en acide linoléique du tissu adipeux montre une association positive entre la teneur en acide linoléique et le risque de cancer du sein (Léger et *al.*, 2005).

2.2.4.6 Effet de l'acide α -linoléique et AGPI n-3 à longue chaîne

Dans la plupart des modèles expérimentaux (tumeurs mammaires, coliques ou prostatiques), des régimes riches en acide α -linoléique ou en AGPI n-3 à longue chaîne ralentissent la croissance tumorale, par des mécanismes dont certains sont bien identifiés (ils s'opposent à la biosynthèse et aux effets des eicosanoïdes dérivés de l'acide arachidonique, et augmentent l'apoptose des cellules tumorales) (Mantovani, 2008).

La plupart des études épidémiologiques ne montre pas d'association significative entre la consommation de poisson ou d'AGPI n-3 à longue chaîne et les risques de cancers. Cependant, des études de cohortes récentes suggèrent que ces AG, à des niveaux accessibles par l'alimentation, pourraient contribuer à diminuer le risque de certains cancers, notamment de cancer colorectal et des phases tardives du cancer de la prostate (Astrog et *al.*, 2011).

3. Matériels et méthodes

3.1 Cadre de l'étude

L'objectif de cette étude était d'analyser une sélection de produits alimentaires industriels de date récente, présents sur le marché algérien, depuis l'avènement de l'entrée au marché mondial, et qui seraient d'un apport certain en matières grasses. Une attention particulière a été prêté aux acides gras saturés, acides gras *trans* et acides gras polyinsaturés *cis*.

3.2 Plan d'échantillonnage

3.2.1 Sélection des aliments

Les aliments concernés par cette étude peuvent être classés en 2 groupes d'aliments, à savoir :

- Les matières grasses dites visibles (ou libres) dans :
 - les huiles de friture ;
 - les margarines et smen.
- Les matières grasses dites invisibles (cachées ou liées) contenues dans :
 - les produits céréaliers ;
 - les chips.

3.2.1.1 Cas des matières grasses visibles

3.2.1.1.1 Cas de l'huile de friture

L'huile utilisée par la friture a été fournie par Cévital. Il s'agit de l'huile de tournesol.

3.2.1.1.2 Cas des Margarines et smen

Les échantillons de margarines et smen ont été prélevés au niveau de l'usine « Cévitral » ou dans différents points de vente de la ville de Béjaïa, selon qu'il s'agissait de leur propre marque ou de son équivalente sur le marché.

Nous avons opté pour 6 types de margarines et 2 types de smen. Ces produits commercialisés sous divers emballages et pour différentes orientations culinaires sont présentés dans le tableau 6.

Afin de faciliter leur reconnaissance, nous avons présentés ces produits sous forme de photographies tels qu'ils sont présents sur le marché (figure 21 en annexe).

Tableau 6 : Description des échantillons de margarines et smen

Type	N°	Code	Nom du produit	Mention des M.G dans la liste des ingrédients	Producteur
Margarine tartinable en barquette	1	MB1	Margarine tartinable. Nouvelle recette.		Cévitral
	2	MB2	La Belle barquette	Huile végétales hydrogénées et fluides	SPA COGB La Belle
Margarine tartinable en plaquette	3	MP1	Fleurial plaquette	Huile végétales en l'état et hydrogénées (tournesol, soja, palme)	Cévitral
	4	MP2	Star plaquette	huiles végétales	SARL TRAVEPS
Margarine de feuilletage	5	MF1	Feuilletage La Parisienne	Huiles végétales en l'état et hydrogénées (palme, tournesol, soja)	Cévitral
	6	MF2	Feuilletage Super Chef	Huile végétales hydrogénées	SARL ALMAG
Smen	7	SM1	Smen medina	Huiles végétales sélectionnées en l'état et hydrogénées (palme, soja)	Cévitral
	8	SM2	Smen La belle	Huile végétale raffinée hydrogénée et fluide	Eurl Smen La Belle

3.2.1.2 Cas des matières grasses cachées :

Etant donné l'absence d'études statistiques sur la production, commercialisation ou consommation des produits alimentaires, au niveau des offices étatiques industriels, économiques ou universitaires, pour nous orienter dans la sélection des produits à analyser en fonction de leur apport en matières grasses, nous avons décidé de choisir les aliments selon leur teneur en AGT, à savoir si :

- la présence d'huile partiellement hydrogénée figure dans la liste des ingrédients ;
- d'autres auteurs ont signalé la présence d'AGT dans un aliment quelconque correspondant au nôtre.

Notre démarche pour procéder à cette étude n'est pas arbitraire et nous nous sommes alignés sur la méthodologie suivie par différents auteurs sur les mêmes types de produits ou leurs équivalents (Tavella et *al.*, 2000 ; Martin, 2005 ; Karabulut, 2007 ; Baylin et *al.*, 2007 ; Saunders et *al.*, 2008 ; Richter et *al.*, 2009).

Pour la sélection des échantillons, nous nous sommes basés sur l'étude effectuée par Karabulut, 2007 et Saunders et *al.*, 2008 qui préconisent de petites enquêtes pour s'assurer que les produits retenus soient les plus disponibles sur le marché.

Le tableau 7 suivant et la figure 22 en annexe caractérisent les échantillons de biscuits, cookies, gaufrettes, génoises et chips de pomme de terre sélectionnés pour cette étude :

Tableau 7 : Description des échantillons de biscuits, cookies, gaufrettes, génoises et chips

Famille	N°	Code	Nom	Marque	Poids	Mention des M.G dans la liste des ingrédients
Biscuits enrobés au chocolat	1	BE1	Galette Tango	Bimo	255g	Matières grasses végétales
	2	BE2	Start Lu	Lu	190g	graisses végétales partiellement hydrogénées
Biscuits fourrés au chocolat	3	BF1	Sandwich Palmary	Palmary biscuits	80g	graisse végétale
	4	BF2	Sandwich biscuits de cherchel	Biscuits de Cherchel	90g	graisse végétale (palme et/ou tournesol et/ou grain de coton)
Cookies	5	CK1	Les biscuits Cookies de Bimo	Bimo	200g	Matières grasses végétales
	6	CK2	Isser cookies (noir)	Isser	120g	graisse végétale hydrogénée
Gaufrettes	7	GF1	Croustille Lu chocolat	Lu Algérie	152g	graisse végétale (palme,coprah)
	8	GF2	Gaufrettes Best of BIMO	Bimo	200g	graisse végétale
Génoise	9	GE1	Mon goûter	Palmary	300g	graisse végétale
	10	GE2	Isser Délice	Isser	10x37g =370g	graisse végétale hydrogénée
Chips	11	CH1	Chips Vag d'Or	Vag d'or	3 paquets de 25g	huile végétale
	12	CH2	Chips Mahboul	Mahboul	60g	huile végétale

3.2.2 Prélèvement des échantillons

3.2.2.1 Cas des matières grasses visibles

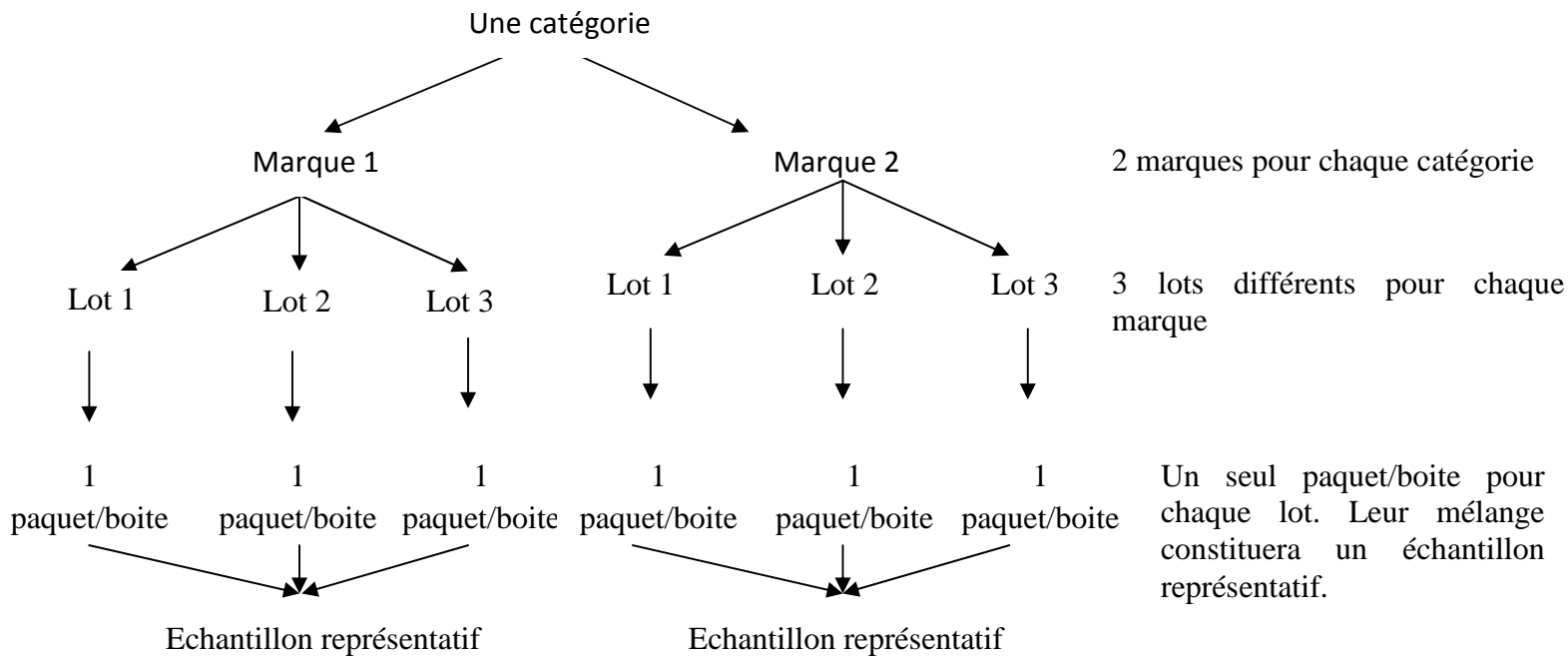
3.2.2.1.1 Huiles de friture

Une quantité de 2.5L d'huile de tournesol, de production récente, a été utilisée à cet effet.

3.2.2.1.2 Margarines et smen

Le prélèvement des échantillons des aliments sélectionnés a été effectué en se référant aux études menées par différents auteurs ayant traité ce point (Tavella et *al.*, 2000 ; Martin, 2005 ; Greenfield et Southgate, 2007).

Trois échantillons, provenant de trois lots différents, ont été achetés pour former un échantillon représentatif de chaque marque :



Tous les aliments ont été conservés comme recommandé sur leur emballage jusqu'à leur préparation à l'analyse, comme d'ailleurs le préconisent d'autres auteurs, tels que Richter et *al.*, 2009.

3.2.2.2 Cas des matières grasses cachées

La procédure de prélèvement des échantillons de cette catégorie de produits alimentaires est identique à celle suivie dans le cas des margarines et smen.

3.2.3 Préparation des échantillons

3.2.3.1 Cas des matières grasses visibles

3.2.3.1.1 Huiles de friture

Les fritures de pommes de terre ont été réalisées au niveau du laboratoire « Recherche et développement » du complexe Cévital, Béjaïa.

Nous avons utilisé une friteuse électrique de marque PHILIPS, d'une contenance de 2.5L, équipée d'un couvercle amovible, un thermostat et une minuterie.

Les conditions expérimentales fixées durant notre expérimentation sont résumées dans le tableau 8. Nous avons confectionné 12 portions de frites allant de 118g à 250g, en respectant un rapport de 100g de frites/litre d'huile.

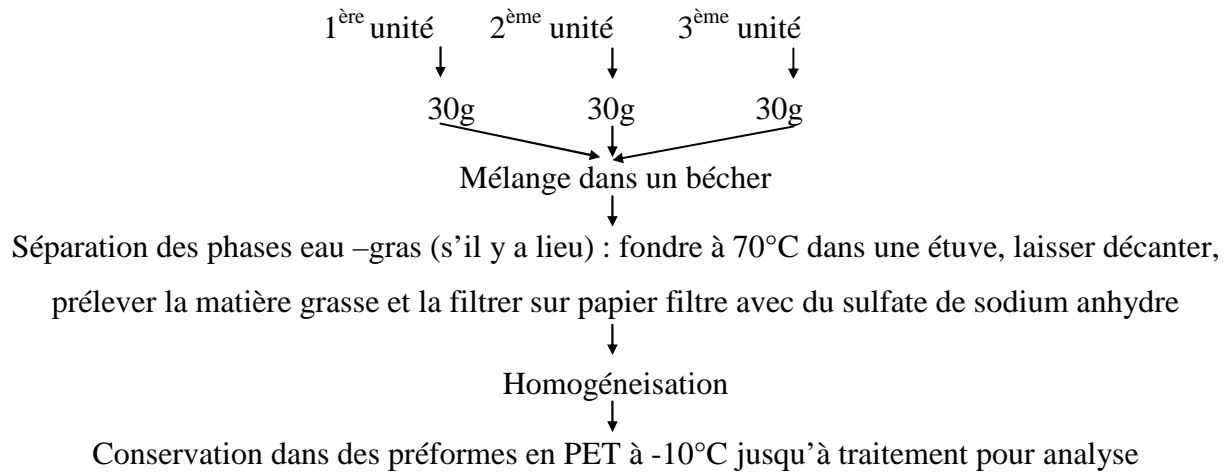
Tableau 8 : Conditions expérimentales des essais de friture

Type de friture	Friture sans ajout de l'huile fraîche dans le bain
Nombre de fritures pour chaque huile	12 fritures
Température	180°C
Durée de cuisson	6mn
Temps entre 2 fritures	2mn
Volume de l'huile initialement utilisée	2,5l
Rapport pommes de terre/huile	100g/l
Formes des frites	Bâtonnet
Volume d'huile prélevé pour l'analyse	120 ml
Nombre d'échantillons analysés	12 échantillons

Après chaque friture, des échantillons d'huile de 120ml sont prélevés après homogénéisation du bain. Les échantillons obtenus sont filtrés et mis aussitôt dans des préformes de 5l, recouverts de papier aluminium et conservés à -10°C jusqu'à analyse (figure 23 en annexe).

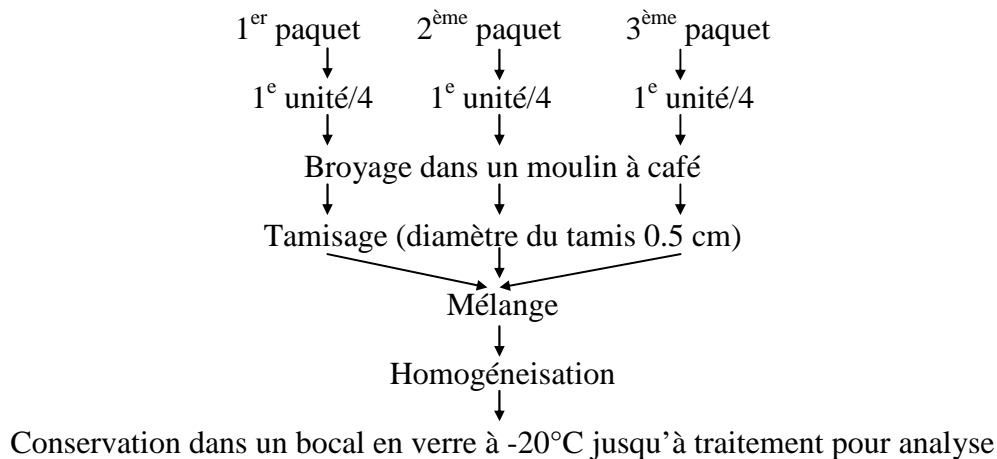
3.2.3.1.2 Margarines et smen

On considère que les échantillons de cette catégorie sont homogènes. Ils ont été préparés selon la méthode préconisée par Ovesen *et al.*, 1998; Letha *et al.*, 2003.

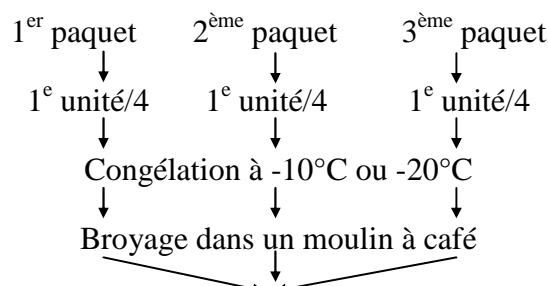


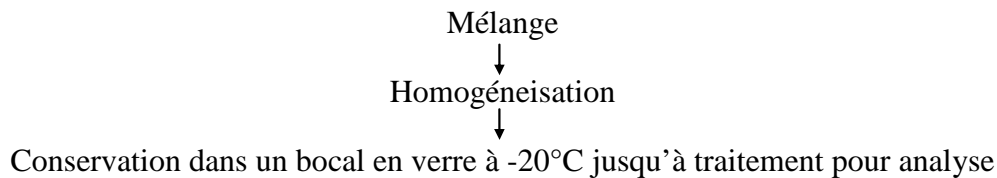
3.2.3.2 Cas des matières grasses cachées

3.2.3.2.1 Biscuits secs/gaufrettes :

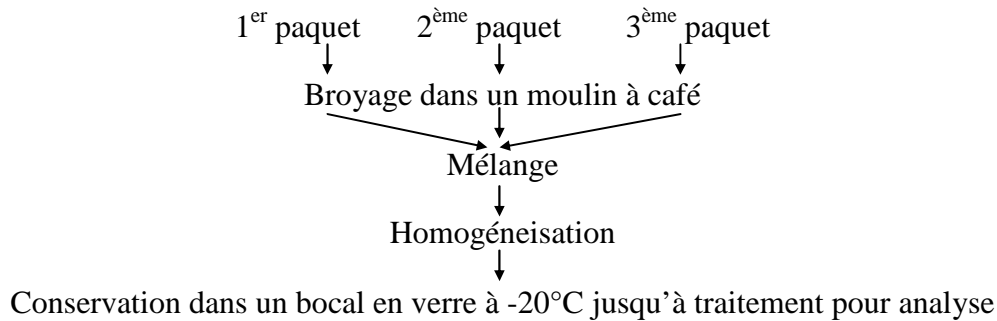


3.2.3.2.2 Génoises





3.2.3.2.3 Chips

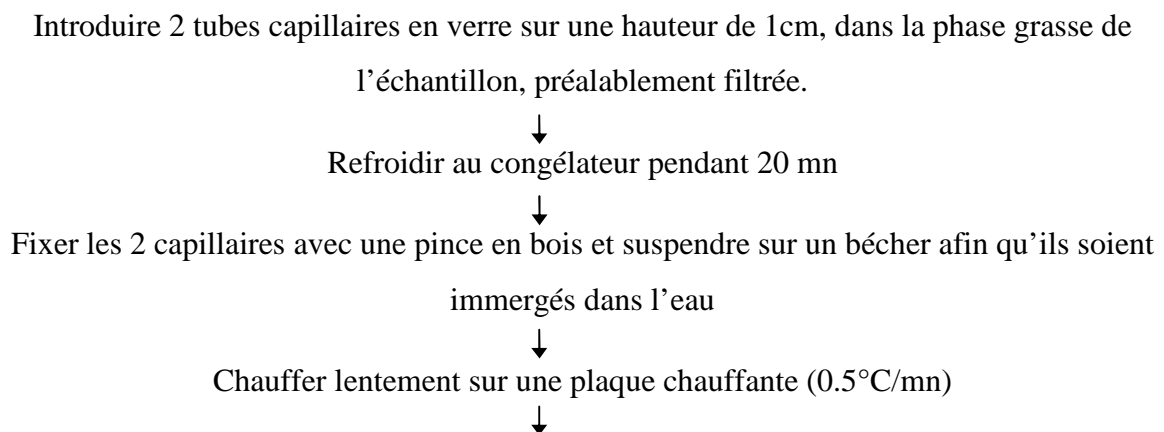


3.3 Matériels et méthodes d'analyse

3.3.1 Analyses physico-chimiques

3.3.1.1 Point de fusion

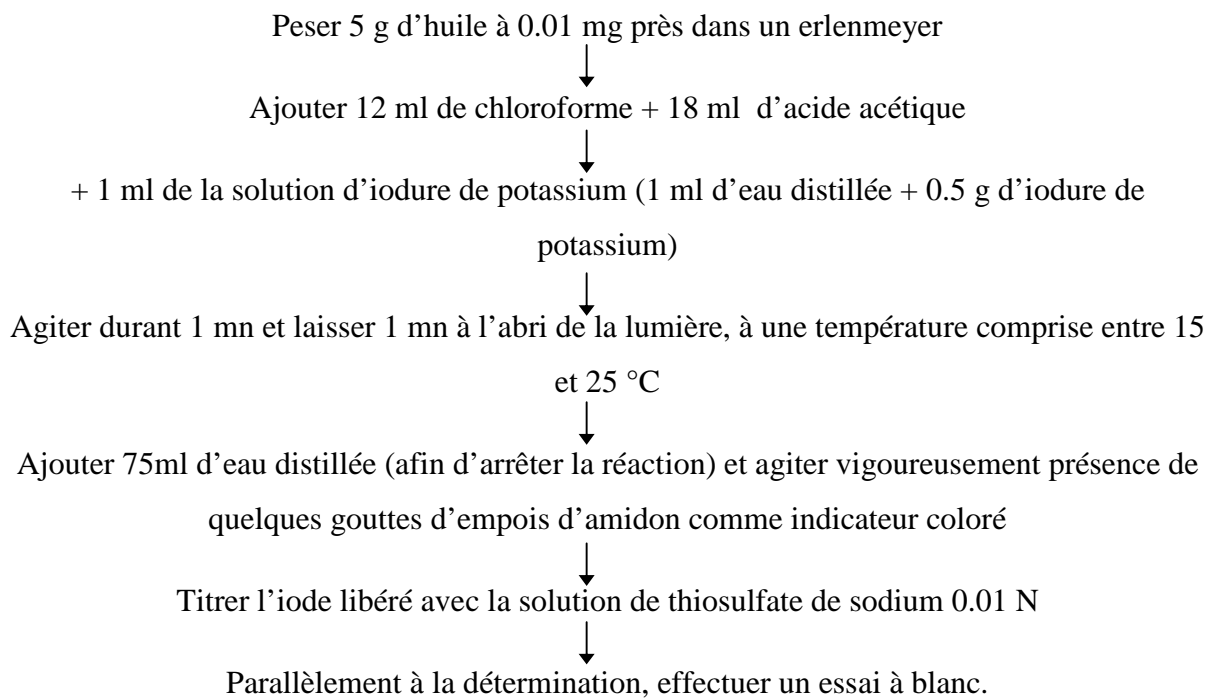
Le point de fusion est la température à laquelle une matière grasse solidifiée dans un tube capillaire se ramollit à tel point qu'elle remonte dans le tube. Sa détermination est basée sur le passage de la matière grasse de l'état solide à l'état liquide sous l'effet de la chaleur, à une certaine température (NE. 1.2.91/88). La température retenue correspond au point de fusion de la margarine, exprimée en degré Celsius (°C). Nous avons procédé tel que indiqué dans le mode opératoire suivant :



Observer attentivement et noter la température à laquelle le corps gras commence à monter dans le tube capillaire.

3.3.1.2 Indice de peroxyde

C'est la quantité de substances de l'échantillon qui oxydent l'iodure de potassium. L'indice de peroxyde est généralement exprimé en milliéquivalents (méq) d'oxygène actif par kilogramme d'échantillon. La méthode utilisée est basée sur le traitement d'une prise d'essai en solution dans de l'acide acétique et du chloroforme par une solution d'iodure de potassium (KI), et le titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré (ISO 3960 Quatrième Edition 2007-07-15). Le mode opératoire suivant montre les différentes étapes et l'expression des résultats :



L'indice de peroxyde est déterminée par la formule suivante :

$$I_p = \frac{V - V_0}{p} * 1000$$

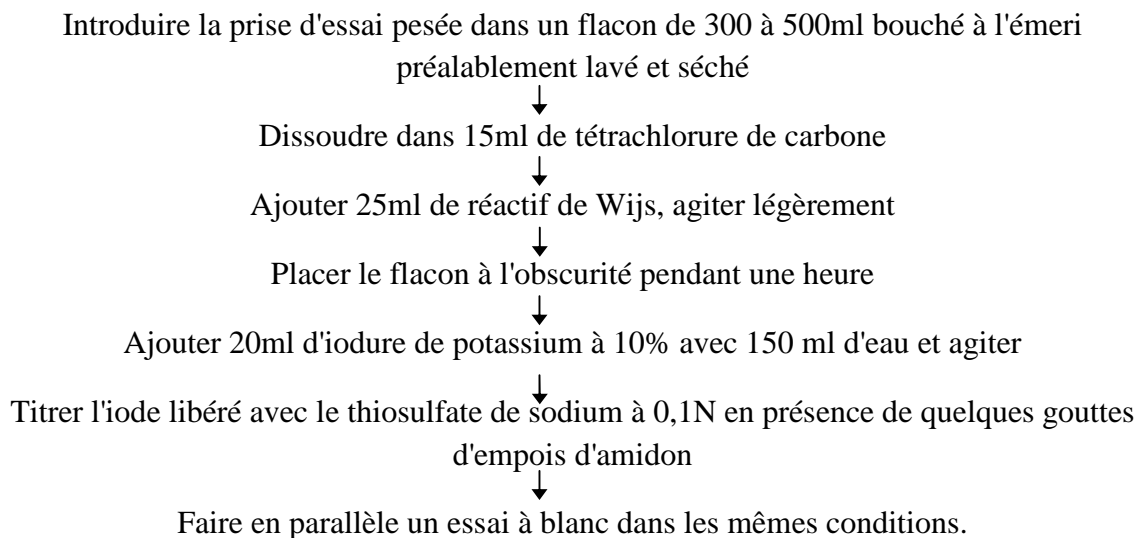
V : est le volume de thiosulfate de Na de l'échantillon

V₀ : est le volume requis pour titrer le blanc

P : est la prise d'essai en grammes.

3.3.1.3 Indice d'iode

L'indice d'iode est le nombre en gramme d'iode fixé par 100g de corps gras et dont le principe de détermination est basé sur la réaction de la solution de Wijs en excès dans une masse d'huile connue avec précision. Ce réactif s'additionne quantitativement sur les insaturations (ISO 3961 Troisième Edition 1996-06-01). Le mode opératoire détaillé avec l'expression des résultats est donné comme suit :



Le calcul de l'indice d'iode est donné par la formule suivante :

$$I_i = \frac{(V_0 - V) \times N \times 12.96}{p}$$

Où :

I_i : indice d'iode.

V_0 : volume de thiosulfate de sodium utilisé pour l'essai à blanc en ml.

V : volume de thiosulfate de sodium utilisé pour titrer l'excès d'iode en ml.

N : normalité de thiosulfate de sodium.

12,69 : masse d'iode correspondant à 1ml de thiosulfate de sodium pour 100g de corps gras.

3.3.1.5 Acidité

L'acidité est le pourcentage d'acides gras libres exprimé conventionnellement en acide laurique pour les huiles de coprah et le palmiste, en acide palmitique pour l'huile de palme et en acide oléique pour la majeure partie des huiles. Sa détermination est basée sur la neutralisation des acides gras libres par une solution de NaOH à chaud en présence de phénolphthaléine (ISO 660 2^{ème} édition 1996-05-15). Nous avons appliqué le mode opératoire suivant :

Préparer dans un Erlenmayer une solution de 75 ml d'alcool neutralisée (éthanol+quelques gouttes de phénolphthaléine qui est un indicateur coloré, titrer le NaOH jusqu'à apparition d'une coloration rose)

↓
Ajouter 10g de l'échantillon à analyser

↓
Faire dissoudre en portant sur une plaque chauffante

↓
Procéder à un deuxième titrage des AGL par NaOH à 0.1N jusqu'à apparition de la couleur rose persistante (10 secondes)

↓
Noter la chute de la burette.

L'acidité du corps gras (huile/margarine) est déterminée comme suit :

$$A (\%) = \frac{M \times N \times V}{P} \times 10$$

Où :

M : masse molaire d'acide oléique = 282g/mol

N : normalité de NaOH à 0.1N

P : poids de la prise d'essai.

V : volume de NaOH utilisé pour le titrage.

3.3.1.6 Mesure de la couleur

La mesure de la couleur de l'huile est effectuée avec un «colorimètre Lovibond ». Elle consiste à comparer la couleur de la lumière transmise à travers l'huile dans une cuve à face parallèle, à la lumière provenant toujours de la même source transmise à travers des lames colorées standardisées (ISO 15305 Première Edition 1998-09-15).

Le mode opératoire consiste à verser l'échantillon à analyser dans une cellule de (5 pouces et 1/4) puis on détermine la couleur en faisant la comparaison avec les lames de la cellule standard.

Les valeurs de la couleur sont données comme suit : X_J , Y_R .

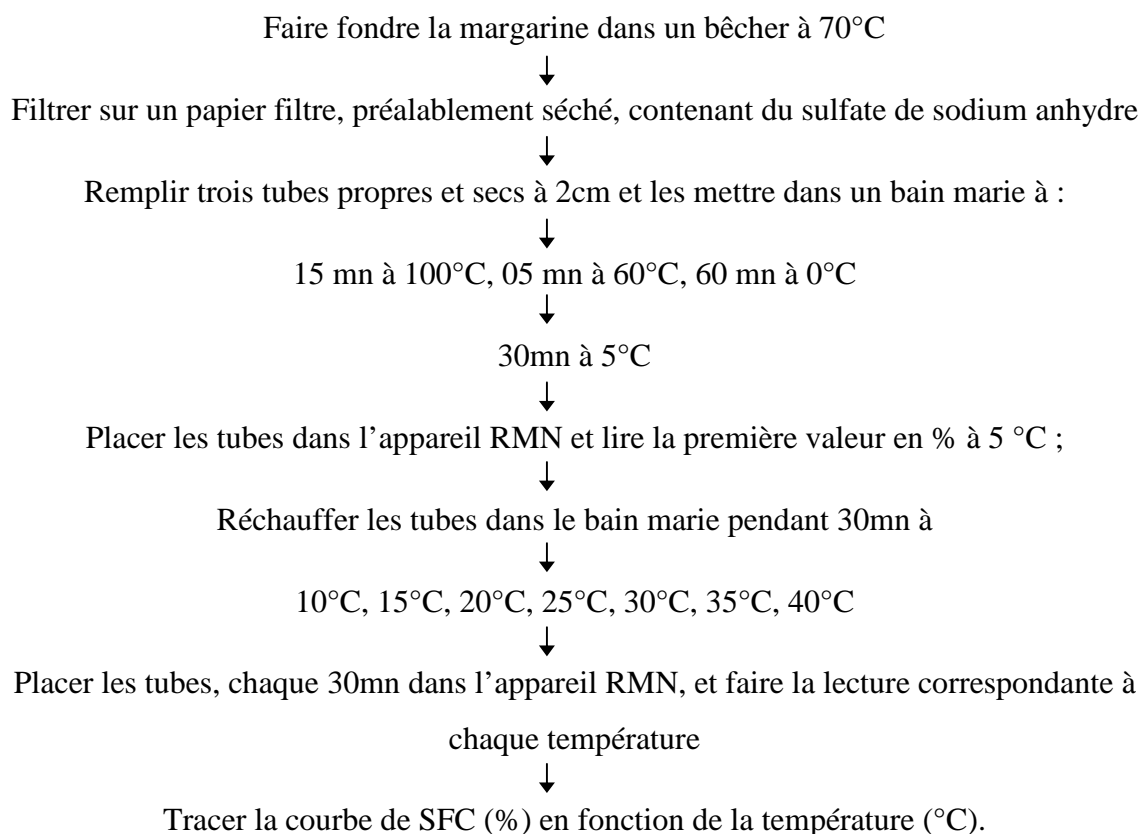
Où : J : la couleur jaune.

R : la couleur rouge.

X, Y : les valeurs déterminés par Lovibond.

3.3.1.7 Détermination du taux de solide par RMN

La détermination de la teneur en corps gras solides est effectuée à l'aide d'un spectromètre de résonance magnétique nucléaire (RMN). Ce taux exprimé en pourcentage, constitue une caractéristique physique importante influençant les propriétés technologiques et sensorielles des corps gras. Cette détermination est effectuée selon les normes NF EN ISO 8292 T60-250, 1995). Le mode opératoire est le suivant :



3.3.2 Détermination du profil en acides gras par chromatographie en phase gazeuse CPG

La chromatographie directe des corps gras n'est pas toujours possible en raison de leurs températures d'ébullition trop élevées et leurs instabilités thermiques. Généralement les acides gras sont analysés sous forme estérifiée. Cette transformation chimique permet d'abaisser leurs points d'ébullition et obtenir ainsi des dérivés thermostables. Le flux du gaz vecteur entraîne la migration des acides gras méthylés à travers la colonne chromatographique. L'hexane, n'ayant pas d'affinité pour la phase stationnaire, migre plus rapidement tandis que les acides gras méthylés migrent plus tardivement, en fonction de leur temps de rétention. Les acides gras sont identifiés grâce à l'utilisation de standards.

3.3.2.1 Extraction des lipides

a. Choix de la méthode

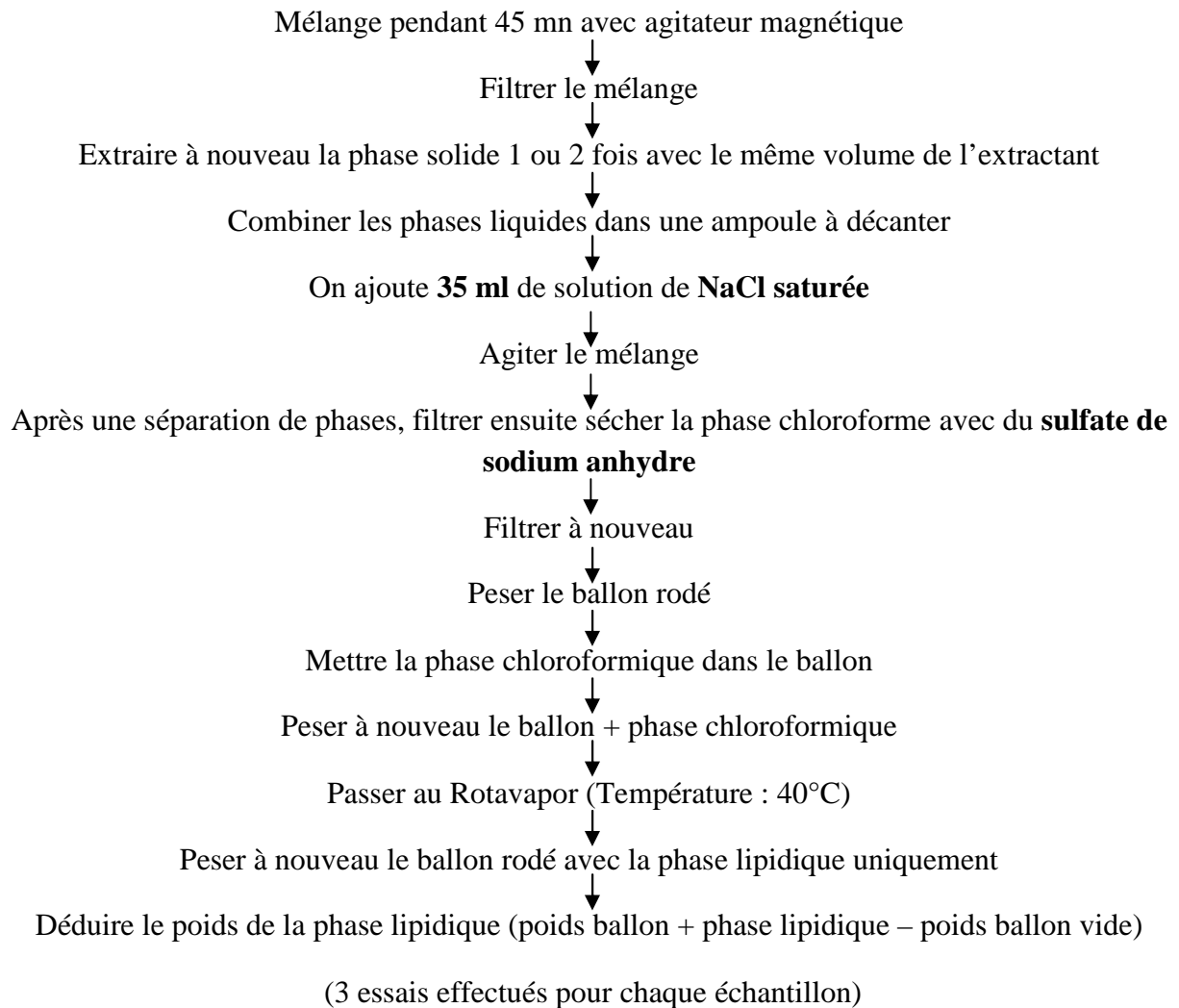
L'extraction dans le chloroforme-méthanol est bien connue (Folch, Lees et Stanley, 1957). Cette méthode a été choisie en raison de ses douces conditions de travail (ni chaleur ni pression élevées), ce qui évite d'éventuelles modifications de la matière grasse extraite. De nombreux auteurs ont également opté pour cette méthode (Tavella et *al.*, 2000 ; Martin et *al.*, 2005 ; Priego-Capote et *al.*, 2007 ; Greenfield et *al.*, 2007).

b. Principe et protocole expérimental

Elle combine la capacité de pénétration de l'alcool dans les tissus avec le pouvoir dissolvant du chloroforme pour les lipides. Cette méthode d'extraction est préférable quand l'extrait est utilisé pour mesurer les acides gras. La méthode est efficace pour les aliments complexes et fait partie des méthodes officielles AOAC (Greenfield et *al.*, 2007).

Nous avons suivi le protocole expérimental appliqué par plusieurs auteurs (Parcerisa et *al.*, 1999 ; Priego-Capote et *al.*, 2007) et dont voici les différentes étapes :

25 g de l'échantillon
↓
Ajouter 75 ml du mélange chloroforme/méthanol (2:1 v/v) dans un Erlen meyer de 250 ml
↓



3.3.2.2 Préparation des esters méthyliques d'acides gras (EMAG/FAME)

a. Choix de la méthode

La méthode choisie est celle au trifluorure de bore (BF_3). Elle est recommandée pour la plupart des corps gras. Elle a été utilisée par plusieurs auteurs à l'instar de Tavella et *al.*, 2000; Romero et *al.*, 2000 ; Seppänen-Laakso et *al.*, 2002 ; Liu et *al.*, 2007 ; Shirasawa et *al.*, 2007 ; Wagner et *al.*, 2008 ; Richter et *al.*, 2009.

b. Principe et protocole expérimental

Cette méthode consiste en une saponification des glycérides avec de l'hydroxyde de sodium méthanolique et une conversion des savons en esters méthyliques par réaction avec un complexe de trifluorure de bore/méthanol.

Le protocole expérimental suivi est tiré de la norme ISO 5509 : 2000, dont voici les différentes étapes :



3.3.2.3 Analyse des esters méthyliques d'acides gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG)

Les conditions opératoires appliquées pour l'analyse des esters méthyliques sont comme suit :

Chromatographe	Chromopack CP 9002
Détecteur	FID
Injecteur	SPLIT 1/100
Gaz vecteur	Azote
Colonne capillaire	DB 23 (50% cyanopopyl)
Longueur	30 m
Diamètre intérieur	0,32 mm
Epaisseur	0,25 µm
Températures	
Injecteur	250 °C
Détecteur	250 °C
Four	Cas des huiles : 200°C Isotherme Cas des graisses : 150 °C-----240 °C à 5°C/min Cas des biscuits et chips : 150°C-----240 °C à 5°C/min
Quantité injectée	1 µl
Vitesse du papier	0,5 cm/mn

Les acides gras sont identifiés par leurs temps de rétention en comparaison à un chromatogramme de référence d'un mélange standard d'esters méthyliques de composition et concentration connues. Le mélange de standards utilisé contient 28 composés, allant du C4:0 methyl butyrate au C22:6 methyl docosahexaenoate. La teneur en acide gras est exprimée en pourcentage des acides gras totaux.

4. Résultats et discussions

4.1 Analyses des huiles de fritures

4.1.1 Analyses physico-chimiques

Les indices de peroxyde, d'iode, d'acidité et la couleur ont été déterminés pour l'huile de tournesol raffinée avant friture, à la 1^{ère} friture, 6^{ème} friture et 12^{ème} friture. Les échantillons sont codés respectivement HF0, HF1, HF6, HF12.

4.1.1.1 Acidité

Les résultats obtenus pour cet indice sont illustrés dans la figure 24.

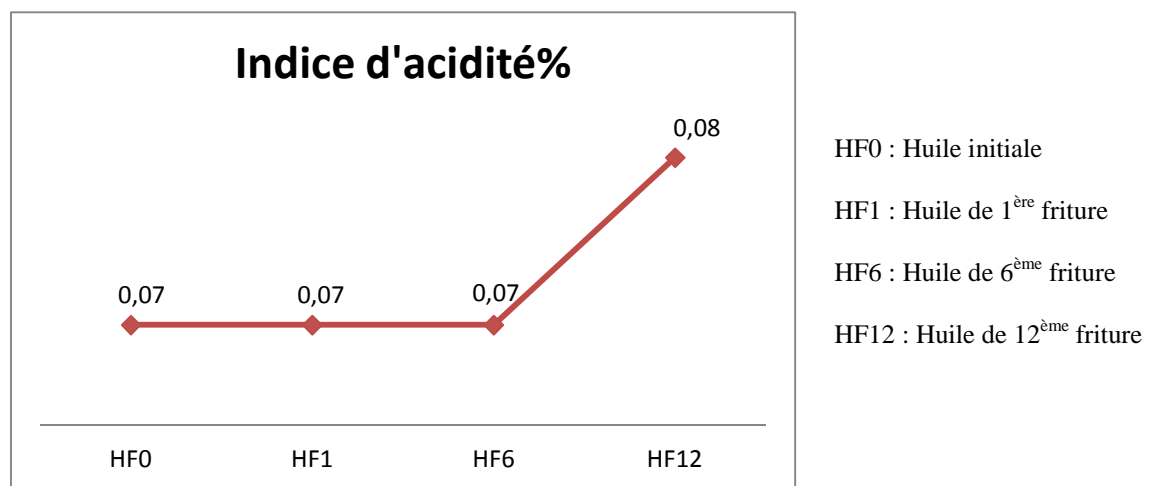


Figure 21 : Indices d'acidité des échantillons d'huile HF0, HF1, HF6, HF12

L'huile de tournesol paraît stable car l'acidité ne commence à augmenter qu'au-delà de la 6^{ème} friture, passant de 0.07% à 0.08. Les valeurs trouvées sont en dessous de la norme de l'entreprise 0,3% qui est celle fixée par les normes AFNOR 1984.

L'acidité nous renseigne sur le taux d'acides gras libres présents dans l'huile et permet d'estimer le degré d'altération hydrolytique, qui est favorisé par la présence d'eau dans l'aliment (Karleskind, 1992). Cependant, Gupta-Monoj (2005) note que la mesure de l'acidité ne représente pas nécessairement la qualité absolue de l'huile de friture, dès lors qu'elle ne dépasse pas 0.5%. L'acidité dans la plupart des huiles de friture industrielles varie de 0,25% à

0,40%. Récemment, il a été décrit que la quantification des diacylglycérols permet de mieux mettre en évidence les réactions hydrolytiques, car ces composés restent dans le bain de friture, contrairement aux AGL qui sont partiellement entraînés par la vapeur (Gertz et Kochhar, 2001).

4.1.1.2 Indice de peroxyde

Les résultats obtenus pour cet indice sont illustrés dans la figure 25.

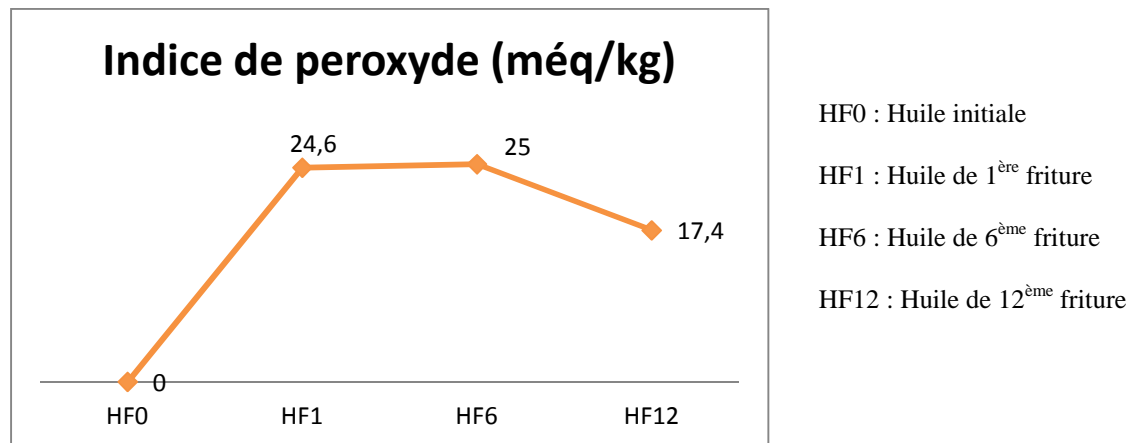


Figure 22 : Indices de peroxydes des échantillons d'huile HF0, HF1, HF6, HF12

D'après la figure 25, on constate que l'indice de peroxyde augmente d'une manière générale jusqu'à la 6^{ème} friture pour atteindre une valeur de 25 méq d'O₂/Kg puis diminue pour atteindre une valeur de 17.4 méq d'O₂/Kg au bout de la 12^{ème} friture. Ceci a été constaté par d'autres auteurs (Guillén *et al.*, 2000 ; Capuano *et al.*, 2010). Toutefois, une analyse détaillée fait ressortir l'allure classique de la formation des peroxydes, à savoir trois phases :

- entre HF0 et HF1 : une phase d'initiation avec une augmentation rapide de l'indice de peroxyde, ce qui s'explique par la formation des produits primaires de la thermo-oxydation à savoir : les peroxydes et les hydroperoxydes.
- entre HF1 et HF6 : une phase de propagation plus ou moins stable avec un indice de peroxyde passant de 24.6 à 25 ;
- entre HF6 et HF12 : une phase d'arrêt avec probablement une formation de produits secondaires à partir des peroxydes. Ainsi, Une matière grasse peut être fortement oxydée et présenter un indice de peroxyde faible (si tous les peroxydes ont été transformés en composés secondaires d'oxydation) (Delacharlerie *et al.*, 2008).

La figure 26 résume les principales réactions de peroxydations des lipides qui ont lieu dans les huiles de friture :

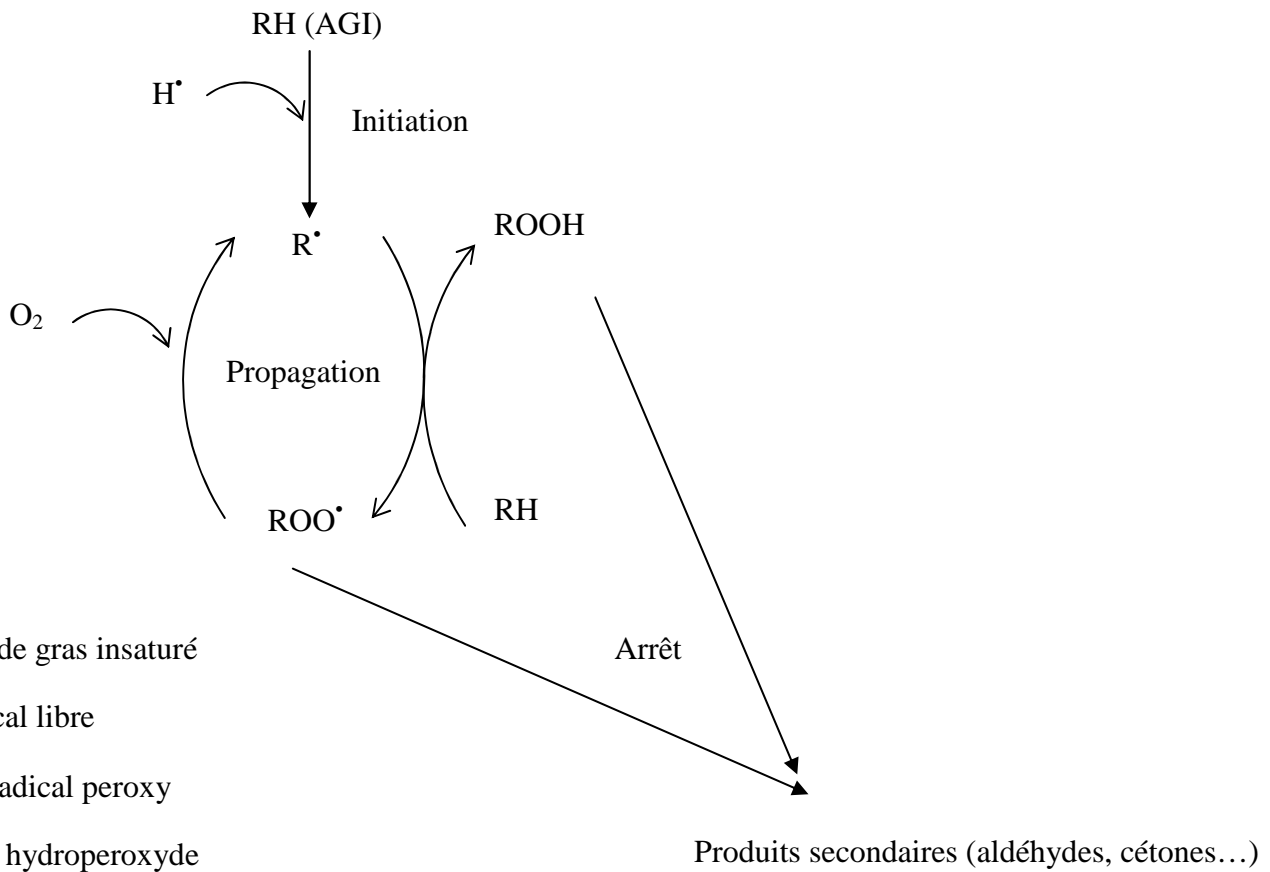


Figure 23: Mécanisme de peroxydation des lipides (Pokorny, 2003)

Les valeurs de l'indice de peroxyde enregistrées sont nettement supérieures à celles trouvées dans d'autres études effectuées au complexe Cévital. Cette différence est due à la longue durée de refroidissement appliquée. Selon Hicks et Gebicki, (1979), les hydroperoxydes se forment en quantité importante au cours des périodes de refroidissement, mais à la température de friture, les hydroperoxydes sont rapidement transformés en radicaux oxyacide. Ces derniers sont à l'origine d'une multitude de composés secondaires.

4.1.1.3 Indice d'iode

D'après les résultats en analyse chimique, l'indice d'iode reste approximativement stable entre la 1^{ère} et 12^{ème} friture. Nous obtenons 127g d'iode/100g d'huile à la F1, 128g à la F6 et 127.2 g au bout de la F12. Ces résultats ne sont pas en accord avec d'autres études où l'indice d'iode diminue progressivement avec le nombre de fritures (Gertz et Matthäus, 2008).

Nous avons, alors, essayé de vérifier nos résultats par la détermination de l'indice d'iode par une formule mathématique utilisant les indices d'iode des acides gras insaturés :

$$\text{Indice d'iode} = \% C_{16:1} \times 0.9525 + \% C_{18:1} \times 0.8620 + \% C_{18:2} \times 1.7358 + \% C_{18:3} \times 2.6216 + \% C_{20:1} \times 0.7872$$

Nous observons, effectivement une légère réduction progressive de l'indice d'iode entre le début de la friture HF0 et la dernière friture HF12, bien que la courbe (figure 27) montre une stabilité entre HF1 (124.43) et HF6 (124.30).

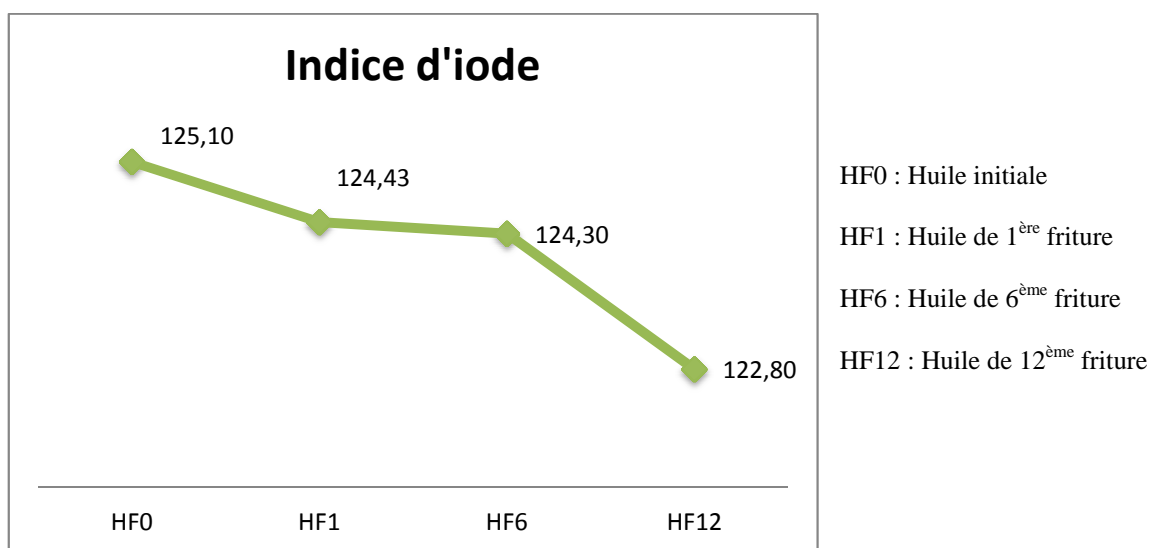


Figure 24: Indices d'iode des échantillons d'huile HF0, HF1, HF6, HF12

4.1.1.4 Évolution de la couleur

Les résultats obtenus pour l'évolution de la couleur sont illustrés dans la figure 28.

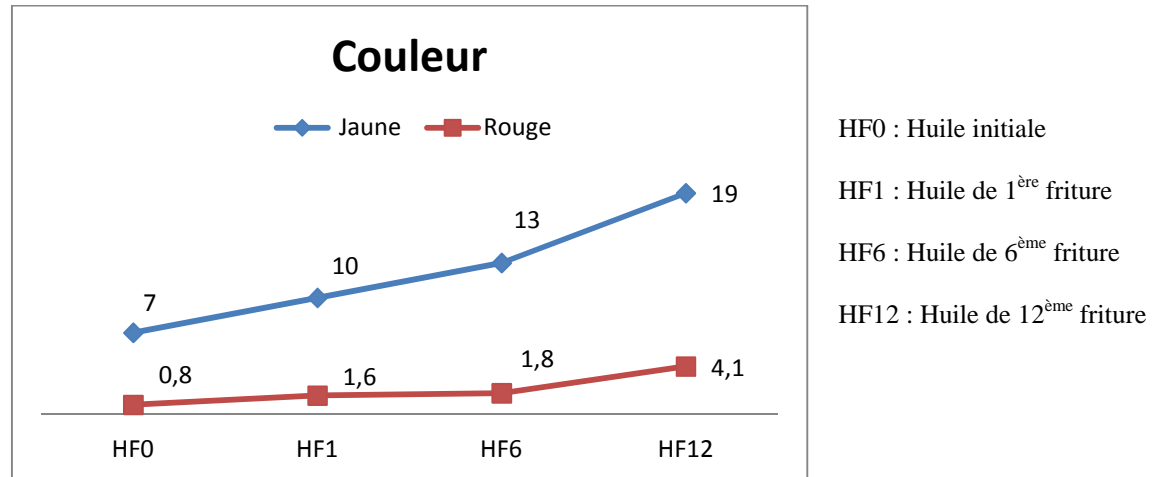


Figure 25: Evolution de la couleur dans les échantillons d'huile HF0, HF1, HF6, HF12

La modification de la couleur nous renseigne, généralement, sur le degré d'altération des huiles durant les fritures répétées. Ce paramètre est exprimé en termes de nombre d'unités jaune et rouge.

Les résultats que nous avons obtenus, illustrés dans la figure 31, montrent que le nombre d'unités jaune et rouge augmentent en fonction du nombre de fritures. La couleur jaune semble la plus importante, en passant de 7 unités (HF0) à 19 unités (HF12).

Selon Gertz et Matthäus, 2008 le brunissement des huiles de fritures peut être en partie dû aux produits issus de la réaction de Maillard entre l'huile thermo-oxydée et les acides aminés libérés par les aliments frits et aux produits secondaires des réactions finales d'oxydation des huiles (oxyacides, aldéhydes, acides à courte chaîne, hydrocarbures...).

4.1.2 Profil en acides gras des huiles de friture

Le tableau 9 donne le profil en acides gras de l'huile de tournesol raffinée H0 et après son utilisation dans un processus de friture (H1, H6, H12).

Tableau 9 : Composition en acides gras des échantillons d'huiles de friture H0, H1, H6, H12

Nom AG	Teneur moyenne en acides gras (% des esters méthyliques d'acides gras)			
	HF0	HF1	HF6	HF12
C 14:0	0,08	0,08	0,08	0,08
C 16:0	7,46	7,41	7,24	7,65
C 16:1	0,22	0,19	0,20	0,17
C 18:0	3,49	3,46	3,41	3,34
C 18:1	30,64	30,64	30,65	30,89
C 18:2 t	0,37	0,45	0,40	0,34
C 18:2	56,27	56,01	55,84	55,31
C 20:0	1,64	1,60	1,58	2,21
C 18:3	0,31	0,24	0,29	-
AGMI	30,86	30,84	30,85	31,06
AGPI	56,58	56,24	56,13	55,31

L'huile raffinée, analysée dans cette présente étude, présente des teneurs en C16:0, C18:0, C18:1 et C18:2 de 7.46%, 3.49%, 30.64% et 56.27 % respectivement contre 5.39%, 3.49%, 26.84% et 61.93% respectivement dans l'huile de tournesol raffinée dans l'étude de Tasan et Demirci, 2003. Elle est plus riche en C16:0 et C18:1 et moins riche en C18:2. Ces légères différences observées sont certainement dues au caractère variétal, conditions de culture et conditions pédo-climatiques.

D'une manière générale, nous n'observons pas de différence dans les valeurs des différents acides gras de la 1^{ère} friture à la 12^{ème} friture. Néanmoins, nous avons noté une très légère réduction du C18:2 qui passe de 56.27% (HF0) à 55.31% (HF12) avec formation du C18:2 trans qui varie entre 0.34% et 0.45%.

Durant le processus de raffinage des huiles végétales, de hautes températures sont nécessaires, notamment lors de la désodorisation. Quand l'huile est chauffée pendant ce processus, les doubles liaisons de configuration *cis* présentes naturellement dans les huiles

végétales peuvent se transformer en doubles liaisons de configuration *trans*. Les AGT sont formés à des températures avoisinant les 190°C qui sont fréquentes pendant l'étape de désodorisation (Wagner *et al.*, 2000).

L'huile de tournesol raffinée contient généralement plus d'isomères C18:2 *trans* que le C18:1t (Aro *et al.*, 1998b). Dans cette étude, le C18:1 *trans* n'a pas été détecté. La teneur en C18:2 t dans l'huile de tournesol raffinée est de 0.37%, valeur supérieure à celle trouvée par Wagner *et al.*, 2000 (0.1%), inférieure à celle trouvée dans l'étude de Tasan et Demirci, 2003, où l'huile de tournesol raffinée contient 0.05% de C18:1 *trans* et 0.69% de C18:2 *trans*. Elle est, cependant, intermédiaire aux valeurs variant entre 0.11%-0.82% trouvées dans l'étude Transfair (Aro *et al.*, 1998b).

La réutilisation des huiles peut augmenter leur teneur en acides gras *trans* en raison de l'échange d'acides gras entre les aliments frits et l'huile et par le processus de friture lui-même (Aro *et al.*, 1998b).

Nous devons rappeler, néanmoins, que l'huile de tournesol est une bonne source d'AGMI et AGPI (30.86% et 56.58% respectivement).

4.2 Analyses des margarines et smen :

4.2.1 Taux de solide (SFC) et point de fusion des margarines et smen

D'après Ribeiro *et al.* (2009) la quantité de solide présente à différentes températures au cours de la cristallisation et aussi inversement au cours de la fusion est sans doute un paramètre primordial à considérer pour la caractérisation de la phase grasse. Le SFC est responsable de plusieurs caractéristiques propres aux margarines incluant leur aspect et apparence, leur tendance à la tartinabilité, l'exsudation de l'huile et les propriétés organoleptiques (Noor Lida *et al.*, 2002 ; Augusto *et al.*, 2012). Il est établi que :

- les taux de solide de 0°C à 10°C, contrôlent le comportement à l'étalement du produit (sa facilité à être tartiné à la température du réfrigérateur);
- les taux de solide de 15°C à 20°C sont des facteurs importants pour la dureté et l'exsudation huileuse ;
- les taux de solide de 20 à 25°C, contrôle la stabilité de la margarine à la chaleur;
- les taux de solide de 30°C à 35°C, joue un rôle dans l'appréciation organoleptique du produit (Linden et Lorient, 1994).

Le rapport solide / liquide obtenue par RMN, désigné comme SFC est exprimée en pourcentage, où 0% correspond à un échantillon totalement liquide et 100% à un échantillon totalement solide (Ribeiro et *al.* (2009). A chaque type de margarine (cuisine, à tartiner, crèmeage, feuilletage) correspond un type de courbe de solide déterminé (Karleskind, 1992).

La détermination du SFC ne correspond pas à une méthode absolue. En effet, il n'y a pas de matière grasse de référence qui peut être utilisée comme un standard pour fournir une valeur SFC définie ou connue (Ribeiro et *al.*, 2009).

La détermination du point de fusion et de la teneur en solide (SFC) a été réalisée pour les margarines à tartiner, margarines de feuilletage et smen. Les résultats sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Taux de solides % et point de fusion °C des margarines MB, MP, MF et Smen SM

N°	Code	Taux de solides à différentes températures (%)								Pt fusion
		5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	°C
1	MB1	32	26,9	20,2	13,6	8,4	4,2	1,6	0,1	33
2	MB2	33,8	27,6	20,7	13,9	9,2	6	3,6	1,7	33,4
3	MP1	52,8	47,6	39,4	29,8	21,9	12,6	8	3	37
4	MP2	49,8	47,3	39	28,2	20,1	12,3	7,1	2,9	36,9
5	MF1	65,5	61,3	56,3	48,1	40	29,6	21,3	12,9	44,3
6	MF2	71,6	67,7	64,1	55,5	46	35,8	29	21,9	48,1
7	SM1	64,2	57,8	51,7	38,5	26,9	17,6	12,6	6,1	41,1
8	SM2	39	32,4	26	17	11,1	6,8	3,7	0,5	35,5

MB : margarine en barquette, MP : margarine en plaquette, MF : margarine de feuilletage, SM : smen

L'analyse du tableau 10 montre que le taux de solides à différentes températures de cristallisation diminue à partir de 5°C pour atteindre entre 0.1% et 3% à 40°C, excepté pour les margarines de feuilletage MF1, MF2 et le smen SM1 où les valeurs restent assez élevées (entre 6.1% et 21.9%). Ces dernières margarines MF1 et MF2 et smen SM1 montrent également des températures de fusion supérieures par rapport aux autres produits (44.3°C pour MF1, 48.1°C pour MF2 et 41.1°C pour le smen SM1). Ces valeurs élevées de taux de solides et de températures de fusion laissent supposer une forte teneur en acides gras saturés et acides gras monoinsaturés à longue chaîne ; probablement une richesse en acide palmitique (C16 :0) et acide oléique (C18 :1), ce que nous essayerons de vérifier avec le profil en acides gras des différentes margarines et smen.

La figure 29 montre que la teneur en solide des margarines en barquettes diminue rapidement avec l'augmentation de la température. Ces margarines ont une bonne tendance à la « fonte ». On remarque qu'au voisinage de la température buccale, le solide non fondu est inférieure à 4%. Ceci s'explique par l'utilisation d'huiles riches en AGI et en AGS à courtes chaînes (huile de coprah, palmiste...) qui fondent rapidement avec l'élévation de la température. On constate également que le point de fusion (figure 30) et la teneur en solide des margarines en plaquettes sont plus élevés par rapport à celle des margarines en barquettes. Ceci s'explique par le fait que les MP doivent être plus solides pour éviter l'écoulement de la margarine et la déformation de l'emballage aux températures ambiantes.

Les points de fusion des MB (33-33.4%) sont comparables aux valeurs des margarines en barquette (31.5-32.5%) dans l'étude conduite par Tekin et *al.*, 2002 et des margarines analysées (31.2-34.9%) par Karabulut et Turan, 2006. Ceux des MP (36.9-37%) sont comparables aux valeurs trouvés (34.5-37%) dans les margarines en plaquette analysées par Tekin et *al.*, 2002.

A 10°C, les valeurs SFC des MB (26.9-27.6%), se rapprochent de la valeur trouvée dans une margarine en barquette turque dans l'étude conduite par Tekin et *al.*, 2002 (29.6%) qui fait remarquer que cette valeur se rapproche d'avantage de celles des margarines en plaquettes américaines. A 35°C, les valeurs SFC des MB (1.6-3.6% ; 2.6% en moyenne) correspondent à celles trouvées dans les margarines turcs qui sont de (1.8-3.1%) (Tekin et *al.*, 2002) et (0-3.6%) (Karabulut et *al.*, 2006) et dans les margarines marocaines qui sont en moyenne de 2.4±1.6% (El Khaloui et *al.*, 1998).

A 10°C, les valeurs SFC des MP (47.6-47.3%) sont légèrement en dessous des valeurs les plus élevées (12.9-51.3%) des 15 margarines étudiées par Karabulut et *al.*, 2006. Par contre, à 35°C, le taux de solide des MP (7.1-8%) est supérieur à ceux des mêmes margarines (0-3.6%). Il s'annule à 40°C dans toutes les margarines turques, ce qui n'est observé ni dans les MB (0.1-1.7%) ni dans les MP (2.9-3%). Dans l'étude de El Khaloui et *al.*, 1998, les margarines en plaquette marocaines présentent une teneur en solide à 40°C de $2.6 \pm 0.8\%$, en accord avec celle des MP.

Les figures 29 et 30 montrent respectivement que les MF présentent les teneurs en solide et les point de fusion les plus élevées. Ceci est une propriété recherchée dans une margarine de feuilletage qui doit être très plastique pour permettre une stratification mince sans aucune rupture, ne pas fondre trop rapidement à la température de cuisson et être en mesure de stabiliser les cellules d'air durant la cuisson pour obtenir des produits de boulangerie plus volumineux (Karabulut et *al.*, 2006).

L'échantillon SM1 présente un point de fusion et une teneur en solide intermédiaires aux margarines à tartiner et margarines de feuilletage. Ceci lui procure une consistance ni trop dure ni trop molle, permettant son stockage à température ambiante et facilitant son utilisation dans les différentes préparations culinaires (gâteaux, mets...). Ceci n'est pas le cas du SM2 qui possède un point de fusion et des valeurs SFC intermédiaires aux MB et MP.

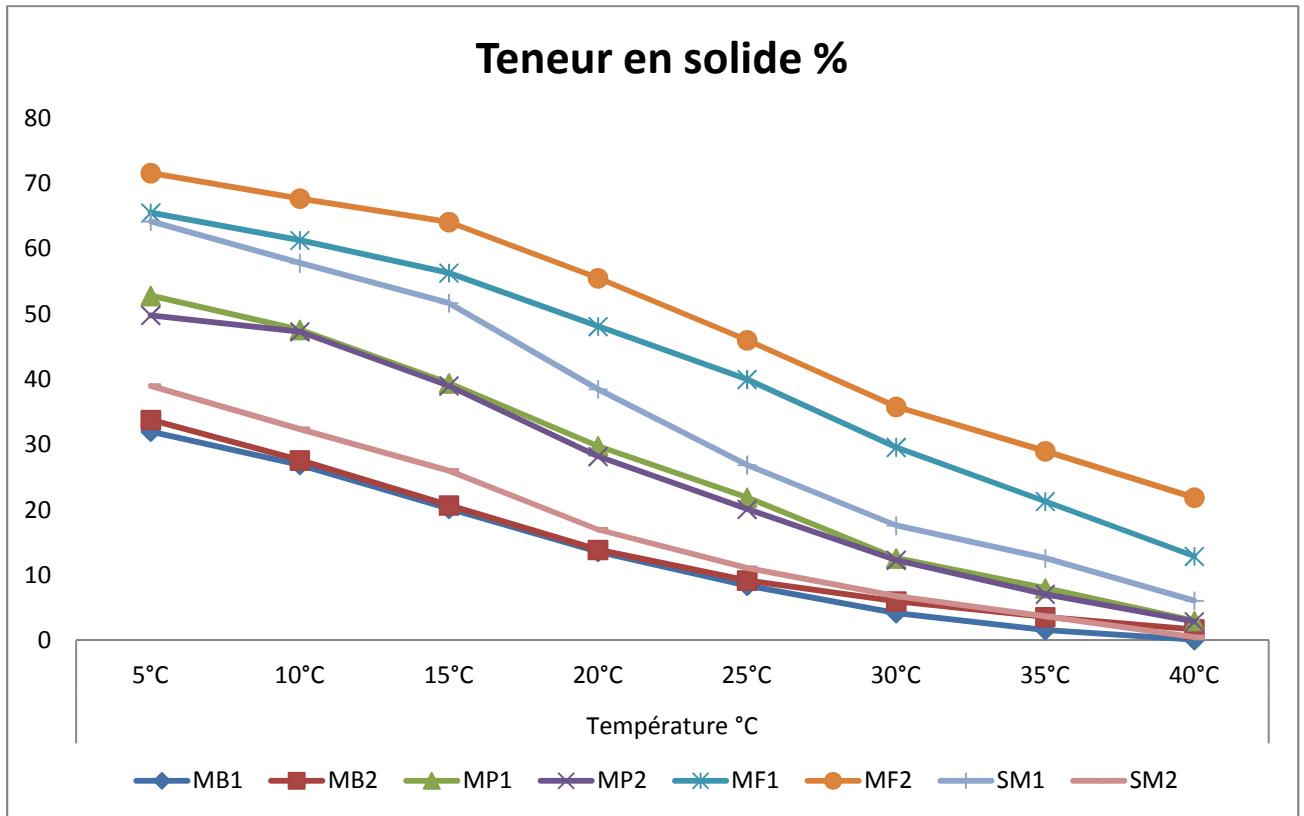


Figure 26: Taux de solides % des margarines MB, MP, MF et SM

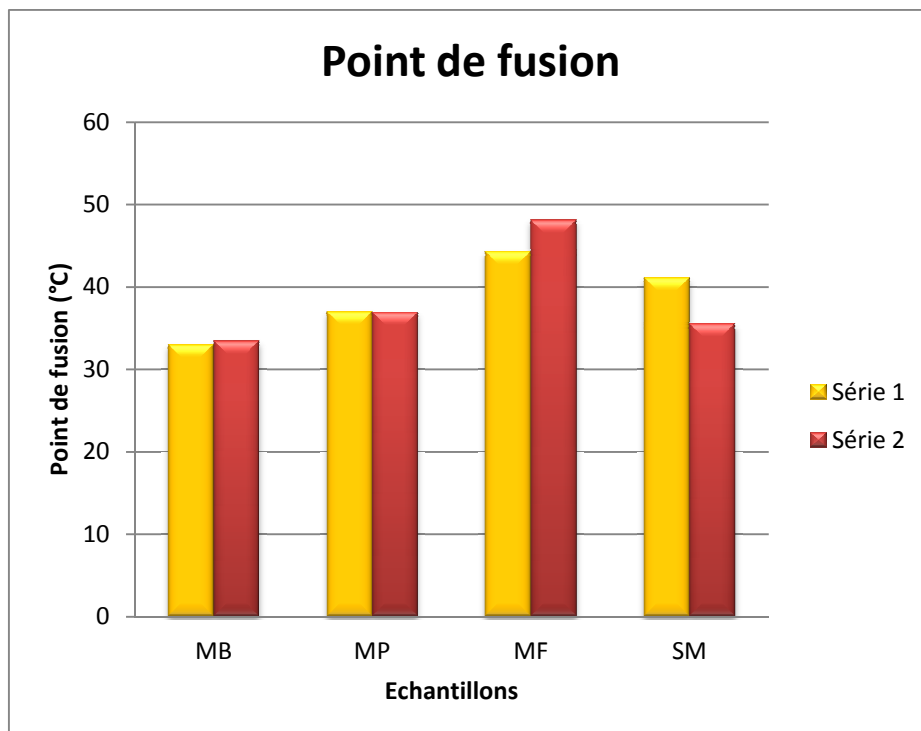


Figure 27: Point de fusion (°C) des margarines MB, MP, MF et SM

4.2.2 Profil en acides gras des margarines et smen

Les proportions relatives (exprimées en % des acides gras totaux) des acides gras saturés, monoinsaturés, polyinsaturés et trans présents dans les margarines et smen sont présentées dans le tableau 11.

Tableau 11 : composition en acides gras des margarines et smen

Acides gras	Composition en acides gras (en % des esters méthyliques d'acides gras totaux) des margarines et smen							
	MB		MP		MF		SM	
	MB1	MB2	MP1	MP2	MF1	MF2	SM 1	SM 2
C5:0	-	-	-	0,32	0,14	0,16	0,03	-
C8:0	0,40	-	0,58	0,49	-	-	0,12	-
C10:0	-	-	0,53	0,93	-	-	1,13	-
C12:0	2,88	0,08	4,35	4,14	0,82	-	2,70	0,16
C14:0	1,74	0,35	2,60	3,76	1,27	1,14	1,27	0,73
C16:0	28,25	19,52	37,01	37,91	40,90	52,00	43,64	33,07
C16:1	-	0,14	0,11	0,47	0,25	-	0,24	0,12
C17:0	-	0,14	0,09	0,23	0,21	-	0,14	0,10
C18:0	3,78	6,70	3,00	7,08	7,89	5,10	5,18	5,13
C18:1t	-	3,57	0,86	-	2,85	0,28	1,48	-
C18:1	45,40	34,99	31,62	31,00	29,82	29,40	35,60	34,25
C18:2t	0,09	0,32	0,12	0,18	0,32	0,21	0,27	0,17
C18:2	13,81	32,00	19,32	10,32	16,63	11,09	9,45	24,05
C18:3	3,19	3,93	0,20	0,98	0,20	0,54	0,34	2,17
C20:0	0,50	0,60	0,14	0,41	0,35	0,39	0,48	0,17

MB : margarine en barquette, MP : margarine en plaquette, MF : margarine de feuilletage, SM : smen

La structure, les propriétés physiques, la stabilité chimique et les effets physiologiques (effets athérogènes) des acides gras trans ressemblent à ceux des acides gras saturés. Les nutritionnistes accordent beaucoup d'attention à cette catégorie de substances, car la présence des isomères trans, en association avec un faible apport en acides gras essentiels, peut provoquer un déséquilibre métabolique en raison de leur capacité à remplacer les acides gras essentiels dans la voie de synthèse des phospholipides des membranes cellulaires. Ceci modifie la perméabilité membranaire et l'activité des enzymes membranaires. Il a également été montré que la consommation d'AGT entraîne une double augmentation du rapport LDL /

HDL par rapport aux AGS. En effet, ces derniers augmentent le taux de cholestérol total, tandis que les acides gras trans induisent une augmentation du taux de LDL avec une diminution simultanée du taux de HDL (Kravić et *al.*, 2011).

Bayard et Wolff, 1995 ont étudié la composition en acides gras de douze margarines françaises en barquette avec une attention particulière à leur teneur en C18:1 trans. En comparant les résultats de deux méthodologies d'analyse, l'une avec CPG directe (colonne CPSIL88, 50m) et l'autre avec Ag-TLC (CCM) couplée à la CPG, ils ont trouvé que la première sous-estimait la teneur en C18:1 t de 12 à 28%. Tavella et *al.*, 2000, estiment que lors de l'utilisation de courtes colonnes avec une faible polarité (dans son étude, il a comparé une CPSIL 88, 50m à une Omegawax250, 30m) des acides gras trans ont été masqués par des acides gras insaturés cis. Ainsi, Kyu Cho et *al.*, 2011 recommandent l'utilisation d'une colonne capillaire GC longue et très polaire afin de maximiser la résolution du plus grand nombre d'isomères d'acides gras que possible. Dans ce sens, également, Alonso et *al.*, 2000 rapportent que les colonnes capillaires de 100 m permettaient d'avoir la meilleure résolution des isomères géométriques et positionnels du C18:1 avec un temps d'analyse raisonnable.

Le tableau 11 montre la présence d'acides gras trans avec un taux assez élevé en C18:1 *trans* dans les margarines MB2 (3.57%), MF1 (2.85%) et SM1 (1.48%). Ces valeurs ne sont pas négligeables au regard de leur effet sur la santé et de leur indésirable présence dans les produits alimentaires tel que souhaitée par tous les organismes sanitaires mondiaux. A ces valeurs, il faudrait encore ajouter les taux apportés en C18:2 trans même si ces valeurs restent faibles pour tous les produits (entre 0.09% et 0.32%).

De nombreuses études sur le profil en acides gras des margarines, particulièrement leur teneur en AGT ont été publiées. La plupart des auteurs ont trouvé des teneurs élevées, ce qui n'est pas en accord avec les résultats de cette présente étude. On cite les études sur les margarines d'Aro et *al.*, 1998b (16.51 % en Islande et 15.81% en Norvège), de Bayard et Wolff, 1995 (17.62%), de Kandhro et *al.*, 2008a (34.7%), de Ratnayake et *al.*, 2007 (32.6 % dans les margarines en barquette et 42.9% dans les margarines en plaquette), d'Alonso et *al.*, 2000 (20.21%), de Tekin et *al.*, 2002 (7.7% dans les margarines en barquette et 37.8% dans les margarines en plaquette), de Karabulut et *al.*, 2006 (39.4%) et de List et *al.*, 2000 (14.6% dans les margarines en barquettes et 25.8% dans les margarines en plaquette). Ces derniers auteurs ont mentionné que toutes les margarines contenaient de l'huile de soja partiellement hydrogénée.

En revanche, d'autres études ont trouvé de faibles valeurs. On signale des taux entre 0.5-1.7% dans 15 margarines canadiennes en barquette fabriquées à partir d'huile végétale non hydrogénée (HVNH) analysées par Ratnayake et *al.*, 2007 ; (0.8±0.2) dans les margarines Bulgares dans l'étude de Tsanev et *al.*, 1998 ; 0.12% en France, 0.42% aux Pays-Bas, 1.03% en Espagne, 0.13% en Suède dans l'étude européenne Transfair (Aro et *al.*, 1998b) ; 3.0±0.9% dans des margarines hollandaises (Tsanev et *al.*, 1998) ; 3.4% dans les margarines danoises (Ovensen et *al.*, 1998) ; 3.7% dans les margarines autrichiennes (Wagner et *al.*, 2000).

Ces derniers auteurs justifient cette diminution de la teneur en AGT par l'amélioration de la technologie de fabrication des margarines à partir des années 90 qui a permis aux producteurs de (la) réduire la teneur en AGT dans plusieurs produits. Cette tendance résulte probablement de la pression publique (via les organismes de santé et de législation) (Karabulut et *al.*, 2006). En effet, plusieurs pays, y compris les Etats-Unis et le Canada, ont introduit une législation pour réduire la teneur en AGT dans les aliments transformés. Le Danemark impose les normes les plus rigoureuses, limitant les AGT dans les aliments à 2,0g d'AGT/100g d'huile ou de graisse, et les produits contenant moins de 1,0g d'AGT/100g de graisse ou d'huile sont considérés comme exempts d'AGT (« sans AGT ») (Hernandez-Martinez, 2011).

Ratnayake et *al.*, 2007 souligne que malgré l'augmentation du nombre de margarines en barquettes à très faible teneur en AGT au Canada, les margarines en barquettes et plaquettes à base d'HVPH contiennent toujours des niveaux élevés d'AGT, similaires à ceux présents sur le marché dans les années 1990.

Dans l'étude de Ratnayake et *al.*, 2007, l'isomère C18:1 10t prédominait dans toutes les margarines-HVPH, suivi de l'isomère C18:1 9t dans les margarines en barquette et de l'isomère C18 :2 11t dans les margarines en plaquette. La prédominance du C18:1 10t indique que c'est huile de soja/canola partiellement hydrogénée qui a été utilisée (Aro et *al.*, 1998a).

Deux études récentes (Lemaitre *al.*, 2002 et 2006) ont montré que des niveaux élevés de 18:2 trans dans les phospholipides plasmatiques sont associés à des risques élevés de maladie cardiaque ischémique mortelle et à la mort subite. Donc, en plus des 18:1 *trans*, ces études suggèrent d'accorder une plus grande attention aux 18:2 *trans*. Les valeurs trouvées dans notre étude correspondent à celles trouvées dans les margarines canadiennes à base de HVNH (0.0% à 0.4%), analysées par Ratnayake et *al.*, 2007.

Etant donné que les AGS peuvent fournir des propriétés fonctionnelles comparables à celles des matières grasses partiellement hydrogénées (MGPH), les auteurs Ratnayake et *al.*, 2007 expriment leurs craintes quant à la substitution des MGPH par les AGS dans certains aliments. Selon les recommandations nutritionnelles des autorités sanitaires, le contenu en acides gras saturés ne doit pas dépasser 30% des graisses alimentaires (Brát and Pokorny, 2000).

Le contenu élevé en AGS dans les margarines et smen est dû aux proportions élevées en acide palmitique C16:0, particulièrement dans les margarines de feuilletage type MF1 (40.9%) et MF2 (52%) et le smen SM1 avec 43.64%.

Les margarines pakistanaïses (Kandhro et *al.*, 2008a) et turques (Tekin et *al.*, 2002) montrent également une dominance de l'acide palmitique (16.9-33.8%) et (11.8-31.3%) respectivement. Cependant, quand bien même d'autres auteurs ont également signalé une dominance du C16:0 dans les margarines, les teneurs sont plus faibles. On cite les études canadienne de Ratnayake et *al.*, 2007 (8.3-15.3 % dans MG-HVNH- 5.1-10.5% dans MG-HVPH), et espagnole d'Alonso et *al.*, 2000 (12.28 %). On note que Bayard et Wolff (1995) qualifient de raisonnable une teneur en C16 :0 inférieure ou égale à 15% dans les margarines.

Cette forte présence du C16:0 indique une grande contribution de l'huile de palme dans la fabrication de la margarine. Ce qui est en accord avec les résultats d'Aro et *al.*, 1998b, Bradt and Pokorny, 2000, Tekin et *al.*, 2002, Kandhro et *al.*, 2008a et Hernandez-Martinez et *al.*, 2011. Elle est probablement en relation avec les préparations culinaires mais fait augmenter considérablement l'apport en acides gras saturés dans l'alimentation.

Selon Tekin et *al.*, 2002, un contenu élevé en acide stéarique (5.6-9.4%), qui est de 3-7.89%, dans notre étude, suggère qu'une huile de base interestérifiée ou partiellement hydrogénée riche en acide stéarique a été mélangée à des huiles liquides pour obtenir le taux de solides désiré.

La présence du C17:0 a été détectée dans des proportions variant de 0.09-0.23%. Naturellement, cet acide gras n'est pas très commun dans les huiles végétales alors que toutes les graisses animales en contiennent un peu (Shoji et *al.*, 2005).

Quand aux acides gras insaturés, dans les échantillons analysés, les teneurs moyennes les plus élevées en AGMI sont attribuées aux MB (40.27%). Elles sont suivies par SM (35.11%), MP (31.60%) et MF (29.73%).

Les teneurs moyennes en AGMI varient entre 30 et 35% pour l'ensemble des produits, excepté pour les margarines type MB1 qui présentent un taux plus élevé égal à 45.4%. Ce dernier reste quand même en dessous des valeurs trouvées dans les margarines canadiennes (49-59%) que l'auteur considère élevées (Ratnayake et al., 2007). Le Groupe d'Etude Canadien sur les Craisses Trans (The Canadian Trans Fat Task Force) souligne que les huiles riches en AGMI-cis plutôt qu'en AGPI n-6 devraient être considérées comme une alternative aux huiles partiellement hydrogénées (L'Abbé et Brown, 2006).

Parmi les AGMI, c'est le C18:1 qui est majoritaire dans tous les échantillons analysés, variant de 29.40% dans MF2 à 45.40% dans MB1. Cette dernière est une recette nouvellement formulée par Cévital. L'acide oléique est considéré comme responsable de la réduction du mauvais cholestérol LDL (Kandhro et al., 2008a). Les teneurs en AGMI dans les margarines analysées sont supérieures à celles trouvées par Kandhro et al., 2008a (4.2-19.4%) mais intermédiaires par rapport à celles des margarines canadiennes-HVPH (24.1-49.0%) dans l'étude de Ratnayake et al., 2007.

L'autre AGMI présent dans les échantillons est le C16:1 mais en faibles proportions (0.11-0.47).

Les AGPI ont une importance majeure pour la valeur biologique et nutritionnelle des margarines (aliments). Dans cette étude, la teneur moyenne en AGPI est de 26.46% dans MB, 15.41% dans MP, 14.23% dans MF et 18.01% dans SM. Elle est en moyenne de 20.94% dans les margarines à tartiner, une teneur pratiquement 2 fois plus faible que celles enregistrées par Alonso et al., 2000 (41.48%), Tsanev et al., 1998 (36.30%) et Bayard et Wolff, 1998 (39.91%).

Les AGPI sont principalement représentés par le C18:2. Ovesen et al., 1998, ont classé les margarines en 3 groupes selon leur teneur en acide linoléique :

- 1- acide linoléique <20% : margarine Hard (dure).
- 2- 20% < acide linoléique < 40% : margarine semi soft (demi molle)
- 3- acide linoléique >40% : margarine soft (molle)

Selon cette classification, seule la MB2 peut être considérée comme semi-soft (demi-molle). Les autres sont plutôt des margarines hard (dures). Par ailleurs, Idris et al., 1996 ont signalé que les margarines soft avaient des valeurs SFC entre 10.4 % et 28.9 % à 10°C. Les valeurs SFC de la MB1 et MB2 sont inférieures à 28.9% à 10°C, ce qui les classe en

margarines soft. Pour cela, nos résultats ne sont pas en accord avec ceux d'Ovesen et *al.*, 1998. Ainsi, Karabulut et *al.*, 2006 affirment que cette classification devrait être faite en fonction des propriétés du produit fini ; les techniques utilisées pour la production affectent les propriétés physiques tels que le SFC, le PF et le comportement de cristallisation.

L'analyse de la teneur en C18:2 des échantillons a montré une grande variation au sein de 2 catégories (MB : 13.81% et 32.00% et SM : 9.45% et 24.05%). Les MP et les MF présentent en moyenne une teneur voisine en C18:2 de 14.82% et 13.86% respectivement.

Les teneurs en C18:2 (31.81% et 32%) et C18:3 (3.19% et 3.93%) des margarines MB, se rapprochent des teneurs les plus élevées (C18 :2 : 11.0-34.4% ; C18 :3 : 0.5-4.6%) des margarines canadiennes en barquettes à base de HVPH. En revanche, les margarines MP avec des teneurs en C18:2 égales à 10.32% et 19.32% et en C18:3 égales à 0.2% et 0.98%, correspondent aux teneurs les plus faibles.

Selon Tekin et *al.*, 2002, un contenu en acide linoléique (C18:3) de 3.9-4.3 %, comparable à celui des MB de 3.19% et 3.93%, suggère que les margarines ont été formulées avec approximativement 50% d'huile de soja ou de canola non hydrogénée.

Ainsi, selon les proportions en AGMI et AGPI, les MB et MP sont comparables aux margarines canadiennes en barquette à base d'HVPH dans l'étude de Ratnayake et *al.*, 2007.

Les rapports entre les différents acides gras des échantillons analysés sont donnés dans le tableau 12 où nous essayerons de relever des principales caractéristiques des différents produits.

Tableau 12 : Rapports entre les principaux groupes d'acides gras présents dans les MB, MP, MF et SM

	MB		MP		MF		SM	
	MB1	MB2	MP1	MP2	MF1	MF2	SM 1	SM 2
AGS %	37,55	27,26	48,31	55,27	51,56	58,79	54,70	39,35
AGT %	0,09	3,89	0,97	0,18	3,17	0,49	1,75	0,17
AGMI %	45,40	35,13	31,73	31,47	30,07	29,40	35,84	34,37
AGPI %	17,00	35,93	19,52	11,30	16,83	11,63	9,79	26,22
AGI %	62,40	71,06	51,25	42,77	46,90	41,03	45,63	60,60
AGS+AGT %	37,64	31,15	49,28	55,45	54,73	59,28	56,18	39,35
AGS/AGI	0,60	0,38	0,94	1,29	1,10	1,43	1,20	0,65
AG trans/cis	0,00	0,05	0,02	0,00	0,07	0,01	0,04	0,00
AGPI/AGS	0,45	1,32	0,40	0,20	0,33	0,20	0,18	0,67
AGPI/AGS+AGT	0,45	1,15	0,40	0,20	0,31	0,20	0,17	0,67
AGPI+AGMI/AGS+AGT	1,66	2,28	1,04	0,77	0,86	0,69	0,81	1,53
$\omega 6/\omega 3$	4,34	8,15	96,75	10,55	83,74	20,40	28,05	11,07
Ratio I₃	1,90	3,55	1,16	0,92	1,09	0,77	0,95	1,78

MB : margarine en barquette, MP : margarine en plaquette, MF : margarine de feuilletage, SM : smen

Il est bien connu que les différents acides gras ont des effets différents sur les concentrations de lipides sériques. Les AGS, augmentent le risque de MCV, car ils augmentent le cholestérol total et le LDL-cholestérol sérique contrairement aux AGMI-*cis* et AGPI.

A partir du tableau 12, nous observons des taux élevés en AGS dépassant, pour tous les produits, les 30% et atteignant, voire même dépassant les 50% sauf pour les margarines MB2 (27.26%) et dans une moindre mesure le smen type SM2 avec 39.35% et le MB1 avec 37.55%. Les margarines suédoises contiennent également de grandes quantités d'AGS (43.58%) (Aro et *al.*, 1998b). Les auteurs Ratnayake et *al.*, 2007 considèrent que de faibles

valeurs correspondent à 14.5-16% et des valeurs élevées à 23.3-29.1% dans les margarines canadiennes à base d'HVNH.

Les valeurs trop élevées en AGS donnent un rapport AGS/AGI proche, voire supérieur à 1 dans les margarines en plaquette, margarines de feuilletage, et SM1. Les seuls produits qui échappent à ces rapports trop élevés sont les margarines en barquette (MB1 : 0.6% et MB2 : 0.38%) et SM2 (0.65%) qui montrent des taux d'AGI assez importants avec 62.40% (MB1), 71.06% (MB2) et 60.60% (SM2).

Les valeurs de ce rapport dans les MP (0.94-1.29) sont plus élevées en comparaison avec les MB (0.36 et 0.6) et les margarines analysées (0.31-0.72) dans l'étude de Tsanev et *al.*, 1998. Un rapport élevé indique une forte proportion d'AGS, tel qu'il a été observé par Kandhro et *al.*, 2008a (0.82-1.41). La prévalence des AG insaturés sur les saturés (faible ratio) est considérée comme positive du point de vue impact nutritionnel (Kandhro et *al.*, 2008a ; Tsanev et *al.*, 1998).

La fraction AGS+AGT incriminée dans l'augmentation du cholestérol sanguin, est présente en forte proportion dans les échantillons. Elle représente plus du tiers des acides gras totaux dans les MB et les SM, soient des moyennes respectives de 34.40% et 47.98% et plus de la moitié dans les MP et les MF, soient des moyennes respectives de 52.37% et 57.00%.

Les résultats obtenus dans les margarines à tartiner n'atteignent pas les valeurs de 54.8-84.5% dans l'étude de Kandhro et *al.*, 2008a. Cependant, Cette fraction en moyenne de 43.38 est supérieure aux valeurs de 34.33% dans l'étude d'Alonso et *al.*, 2000 et 33.56% dans l'étude de Bayard et Wolff, 1995.

Wagner et *al.*, 2000 rapportent que l'une des conséquences de l'amélioration des conditions de fabrication des margarines est la substitution renforcée d'acides gras saturés. Le remplacement des AGPI par les AGS pour réduire les concentrations en AGT entraîne une augmentation de la saturation globale de la graisse. Cette stratégie conduit à une diminution de la valeur du rapport AGPI/AGS qui se trouve en conflit avec les lignes directrices alimentaires et provoque des taux de cholestérol et de triglycérides plasmatiques élevés. Ces concentrations élevées sont associées à un risque accru des MCV, athérosclérose et maladies coronariennes. Ces mêmes auteurs soulignent qu'un ratio AGPI/AGS égal à 1 est recommandé. En revanche, le rapport moyen AGPI-cis/AGS recommandé par le British Department of Health est de 0.45 (Da et *al.*, 2002 in Kandhro et *al.*, 2008a).

Les plus faibles moyennes du rapport AGPI/AGS sont attribuées aux MF (0.26), MP (0.3) et SM (0.42). Seule la MB présente en moyenne un rapport proche de 1 (0.89).

La valeur moyenne des margarines à tartiner dans cette étude est de 0.59, supérieure à celles trouvées par Kandhro et *al.*, 2008a (0.36) et Wagner et *al.*, 2000 dans 55% des margarines testées (<0.5%). La MB présente un meilleur rapport (0.45-1.32) que la MP (0.2-0.4). Ce dernier est inférieur à celui recommandé.

Les indices les plus communément utilisés pour exprimer la valeur nutritionnelle des graisses alimentaires sont $I_1 = \text{AGPI-cis}/(\text{AGS}+\text{AGT})$ et $I_2 = (\text{AGPI-cis}+\text{AGMI-cis})/(\text{AGS}+\text{AGT})$. En moyenne, les rapports les plus bas sont obtenus dans les MF (0.25-0.77) et les MP (0.3-0.91) et de meilleurs rapports sont enregistrés dans les MB (0.8-1.97) et SM (0.42-1.17).

Dans les margarines à tartiner, les rapports I_1 et I_2 sont de 0.55 et 1.44, respectivement. Ces valeurs sont supérieures à celles des margarines pakistanaïses (0.23 et 0.46) dans l'étude de Kandhro et *al.*, 2008a et à celles des margarines analysées (0.25 et 0.76) dans l'étude de Anwar et *al.*, 2006. Elles sont en revanche inférieures à celles des margarines espagnoles (1.25 et 1.92) dans l'étude d'Alonso et *al.*, 2000.

Cependant, actuellement, il est reconnu que les AGS n'ont pas tous le même effet sur les lipides sériques. Il est généralement admis que C12:0, C14:0 et C16:0 sont hypercholestérolémiques et que C18:0 est neutre lorsque ces acides gras remplacent des niveaux d'énergie équivalente de cis-AGMI ou des AGPI dans l'alimentation (L'Abbé et Brown, 2006 ; Astrup et *al.*, 2010). A cause des effets variables des acides gras sur les lipides sériques, le rapport I_3 égal à la somme des isomères cis de l'acide oléique, de l'acide linoléique et de l'acide linoléique (acides gras réduisant le cholestérol) sur la somme des acides gras saturés et trans (somme des C12:0, C14:0, C16:0 et AGT : acides gras augmentant le cholestérol) est un indice utile pour comparer la qualité nutritionnelle des différentes graisses alimentaires (Ratnayake et *al.*, 2007, Kandhro et *al.*, 2008a). Il est recommandé que ce rapport soit aussi élevé que possible.

Les MF et les MP possèdent en moyenne des rapports I_3 de 0.93 et 1.04 respectivement, inférieurs à ceux des SM (1.37) et des MB qui présentent un bien meilleur rapport de 2.73.

Dans les margarines à tartiner, Les MB possèdent un ratio I_3 (1.9-3.55) supérieur à celui des MP (0.92-1.16), ce qui est en accord avec les résultats de l'étude de Ratnayake et *al.*, 2007

qui ont trouvé dans les margarines en barquette à base d'HVPH des valeurs supérieures (1.4-2.5) aux valeurs des margarines en plaquette à base d'HVPH (0.8-0.9). Seule la MB2 présente un ratio correspondant à la plus faible valeur dans les margarines en barquette-HVNH (3.5-7.4). Ceci indique que les margarines en barquettes ont un meilleur profil en acides gras que les margarines en plaquettes, ce qui est en accord avec les résultats de Hernandez-Martinez, 2011. et que la MB2 malgré sa teneur la plus élevée en AGT (3.89) se révèle de meilleure qualité nutritionnelle que toutes les autres margarines à tartiner.

Le rapport AG trans/cis des margarines, représente le degré de formation des AGT générés lors du processus d'hydrogénation, à partir des formes cis naturelles des AGI. Ce ratio est tout à fait négligeable dans tous les échantillons analysés (0.00- 0.07). Ceci n'est pas en accord avec les résultats de Kandhro et *al.*, 2008a où la plupart des margarines présentaient un ratio de 0.5-1.8 exprimant une forte teneur en AGT.

Bien que l'acide linoléique et alpha-linolénique soient des éléments (composants) importants d'un régime hypocholestérolémiant et plus sain, les bénéfices qu'ils apportent dépendent dans une certaine mesure d'une consommation équilibrée et appropriée entre ces deux acides gras. Une alimentation très riche en C18:2 n-6 n'est pas souhaitable car elle peut interférer avec la conversion métabolique du C18:3 n-3 en EPA et DHA et diminuer leur quantité dans les tissus. Des quantités élevées d'EPA et DHA dans les tissus sont souhaitables car ils peuvent exercer des effets cardioprotecteurs chez les patients atteints de maladie cardiovasculaire et chez les individus sains (Ratnayake et *al.*, 2007).

Selon Gian Luigi Russo, 2009, un rapport n-6/n-3 aussi proche que possible de 1 est considéré comme ayant un effet protecteur contre les maladies dégénératives. Cependant, un rapport de la FAO (Astrup et *al.*, 2010), conclut qu'il ne serait pas rationnel de recommander un rapport spécifique n-6/n-3, si les apports nutritionnels conseillés (ANC) en acides gras n-6 (2-3% de l'ET) et n-3 (0.5% de l'ET) ne sont pas respectés. C'est également l'avis émis par la Health and welfare Canada, 1990 (Tekin et *al.*, 2002).

Ratnayake et *al.*, 2007 ont considéré dans leur étude qui a porté sur les margarines qu'un niveau modéré de C18:3 n-3 variait de 4.8-8.8 et qu'un niveau favorable du rapport C18:2 n-6/C18:3 n-3 était de 2.2-6.0. Cependant, dans cette présente étude, les valeurs trouvées ne sont pas en accord avec celles proposées comme étant favorables. Dans les MP, on constate une faible présence (0.2-0.98) du C18:3, confortée par un rapport n-6/n-3 « hautement » déséquilibré, atteignant 96.75 dans la MP1. Seule la MB1 présente un rapport

favorable (4.34). MB2 et MP2 dépassent la norme avec des valeurs toutefois acceptables de 8.15 et 10.55 respectivement. Ces proportions, en plus de la forte présence d'AGS font que le profil en AG de ces margarines ne répond pas aux recommandations du Canadian Trans Fat Task Force (L'Abbé et Brown, 2006).

4.3 Analyses des produits de biscuiterie et chips

4.3.1 Dosage des lipides

La teneur en lipides a été déterminée dans les biscuits, cookies, gaufrettes, génoises et chips. Elle est exprimée en pourcentage de matière humide (brute) de l'échantillon. Les résultats sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Teneur en lipides (g/100g de produit) des biscuits, cookies, gaufrettes, génoises et chips

	Teneur en lipides (g/100 g de produit)					
	BE	BF	CK	GF	GE	CH
1	20,98	17,85	23,54	28,83	23,16	30,79
2	33,35	22,50	24,90	24,09	23,25	46,41

BE : biscuit enrobé au chocolat. BF : biscuit fourré au chocolat. CK : cookies aux pépites de chocolat. GF : gaufrettes fourrées au chocolat. GE : génoises fourrées à la crème et enrobées au chocolat. CH : chips de pomme de terre.

Nous remarquons que la teneur en lipides totaux est assez importante dans la plupart des produits de biscuiterie analysés avec des teneurs comprises entre 17.85% et 33.35%, ce qui est quand même alarmant en terme nutritionnel pour des individus, particulièrement adolescents et enfants qui pourraient en prendre facilement 100g dans la journée sans compter l'apport lipidique des autres aliments. Ceci est, de plus, aggravé par la prise des chips dont l'apport en lipides varie entre 30.79% et 46.41%, et le risque est encore plus accentué par le doute sur la qualité des huiles utilisées et le respect de la durée et du mode de conservation des chips.

La teneur en lipides enregistrée dans les biscuits analysés varie entre 17.85% et 33.35%, ce qui est comparable aux biscuits coréens analysés en 2005 présentant des valeurs variant de 16.7-32.1% mais supérieure aux valeurs de 12.3-21.3% dans les biscuits analysés en 2008 (Adhikari et *al.*, 2010) et aux valeurs trouvées dans les biscuits serbes présentant des valeurs variant entre 10.2-24.5% (Kravić, 2011). Les biscuits pakistanais ont une teneur en lipides variant de 13.7% à 27.6% avec une moyenne de 21.8% (Kandhro et *al.*, 2008b) et les biscuits turcs ont une teneur variant de 8.5% à 26.0% (Daglioglu et *al.*, 2000). Les biscuits et cookies australiens présentent une teneur en lipides variant de 7.6-29.1% (Wijesundera, 2007).

La teneur en lipides dans les cookies coréens variait entre 21.9-23.2% en 2005, mais elle a été réduite pour atteindre 18.7-19.0% en 2008 (Adhikari et al., 2010). Les CK présentent une teneur en lipides variant entre 23.54-24.90%, comparable à celle de 2005 en Corée.

Selon Kita et al., 2007, la quantité de lipides absorbée, par les chips de pomme de terre, varie en fonction du type d'huile et de la température de friture. Cette dernière influence significativement la quantité d'huile absorbée, ainsi, plus la température est basse, plus la quantité de lipides dans le produit frit est élevée. Cependant Garayo et Moreira, 2002 rapportent que la quantité d'huile absorbée par les chips de pommes de terre augmente avec l'augmentation de la température de friture.

Selon Karleskind, 1992, la quantité d'huile absorbée par les chips est d'environ 40%, ce qui est en accord avec la teneur moyenne trouvée dans les CH qui est de 38.60%. Dans l'étude de Kita et al., 2007, les chips frits à 3 températures différentes de 150°C, 170°C et 190°C, présentent des teneurs en lipides de 42.42%-41.14%-34.00% respectivement dans l'huile de tournesol et 43.30%-39.49%-35.53% respectivement dans l'huile de soja. Ces valeurs sont intermédiaires aux quantités de lipides absorbées par les chips CH1 et CH2 qui sont de 30.79% et 46.41% respectivement. Cependant, la teneur en huile dans le CH2 est plus élevée que celles trouvées dans les chips de pomme de terre australiennes, qui varient entre 22.5% et 38% (Wijesundera, 2007).

L'apport calorique selon la teneur en lipides est également à prendre en considération car il peut s'avérer important tout en mettant de côté celui glucidique.

Les apports caloriques lipidiques des différents produits de biscuiterie et des chips sont donnés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Apports caloriques lipidiques (Kcal/100g de produit) des produits de biscuiterie et chips

Apports caloriques lipidiques (Kcal/100 g de produit)						
	BE	BF	CK	GF	GE	CH
1	188,84	160,66	211,89	259,49	208,46	277,12
2	300,12	202,47	224,11	216,82	209,26	417,66

Ainsi, le minimum de calories est apporté par 100g de biscuits fourrés avec 160.66 kcal et le maximum avec les chips type 2 avec 417.69 kcal. Ces produits, loin d'être de simples produits de grignotage ou « coupe-faim », sont de véritables perturbateurs de l'équilibre nutritionnel.

4.3.2 Profil en acides gras

L'inquiétude quant à la teneur en lipides des aliments ne réside pas uniquement dans leur apport énergétique mais aussi par rapport à la nature et les teneurs en acides gras et leur impact physiologique sur l'organisme humain à travers plusieurs voies métaboliques.

Les tableaux 15 et 16 présentent respectivement la composition et les principaux rapports entre les acides gras présents dans la matière grasse des produits de biscuiterie et chips comprenant des biscuits enrobés au chocolat BE, biscuits fourrés au chocolat BF, cookies CK, gaufrettes GF, génoises enrobées au chocolat et fourrées à la crème GE, chips de pommes de terre salées CH.

Tableau 15 : Composition en acides gras (en % des esters méthyliques d'acides gras totaux) des biscuits enrobés et fourrés, cookies, gaufrettes, génoises et chips

Acide gras	Biscuits				Cookies		Gaufrettes		Génoises		Chips	
	BE1	BE2	BF1	BF2	CK1	CK2	GF1	GF2	GE1	GE2	CH1	CH2
C10:0	0,67	1,22	0,27	0,15	-	4,60	1,25	0,51	1,97	2,05	-	-
C11:0	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C12:0	13,04	17,44	0,74	0,59	0,88	3,99	14,36	4,58	26,69	28,99	-	-
C13:0	-	0,03	0,23	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-
C14:0	6,09	6,82	1,23	1,15	1,21	2,02	5,38	2,46	8,88	9,71	0,27	0,99
C14:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70	-
C16:0	39,48	30,54	42,47	42,13	42,62	36,91	33,94	40,62	23,04	21,59	13,18	19,90
C16:1t	-	0,04	-	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-
C16:1	0,12	0,14	0,35	0,30	0,27	-	-	0,32	0,39	0,32	-	-
C17:0	0,12	0,10	-	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-
C18:0	5,97	10,84	4,48	5,77	5,41	6,09	6,86	6,15	11,72	12,79	4,31	3,59
C18:1 t	-	1,17	-	-	-	-	0,59	0,31	1,41	2,08	-	0,54
C18:1	25,99	24,27	35,36	35,08	35,98	34,70	26,97	32,23	17,75	16,60	22,80	30,95
C18:2t	0,15	0,08	0,25	0,21	0,31	-	0,12	0,55	0,10	-	0,65	0,44
C18:2	7,36	7,20	15,02	10,95	13,19	13,36	8,57	11,95	7,44	6,03	51,26	42,68
C18:3	0,26	0,37	0,73	0,42	0,54	0,63	-	-	-	-	6,12	0,97
C20:0	0,34	0,46	0,33	0,36	0,32	-	1,09	0,35	0,25	nd	0,50	0,39
C20:1	0,10	0,09	-	0,20	-	-	0,82	0,40	-	-	-	-
C22:0	0,12	-	-	0,34	-	-	0,59	1,40	-	-	1,32	0,47
C22:1	-	-	-	-	-	-	-	0,18	-	-	-	-
C20:5/C24:0	-	-	-	4,88	-	-	0,33	-	1,36	-	0,74	-

Tableau 16: Rapports entre les principaux groupes d'acides gras présents dans les biscuits enrobés et fourrés, cookies, gaufrettes, génoises et chips

Acide gras	Biscuits				Cookies		Gaufrettes		Génoises		Chips	
	BE1	BE2	BF1	BF2	CK1	CK2	GF1	GF2	GE1	GE2	CH1	CH2
AGS%	65,88	67,47	49,74	50,91	50,44	53,60	63,48	56,08	72,55	75,13	19,57	25,35
AGT%	0,15	1,30	0,25	0,31	0,31	0,00	0,70	0,87	1,51	2,08	0,65	0,98
AGMI%	26,21	24,50	35,70	35,58	36,25	34,70	27,79	32,94	18,14	16,91	22,80	30,95
AGPI%	7,62	7,57	15,75	11,37	13,73	13,99	8,57	11,95	7,44	6,03	57,38	43,65
AGMI+AGPI%	33,83	32,07	51,46	46,95	49,98	48,69	36,36	44,89	25,58	22,94	80,18	74,59
AGS+AGT%	66,04	68,77	49,99	51,21	50,76	53,60	64,18	56,94	74,06	77,21	20,22	26,33
AGS/AGI	1,95	2,10	0,97	1,08	1,01	1,10	1,75	1,25	2,84	3,27	0,24	0,34
AGT/AGI cis	0,00	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,06	0,09	0,01	0,01
AGPI/AGS	0,12	0,11	0,32	0,22	0,27	0,26	0,13	0,21	0,10	0,08	2,93	1,72
AGPI-cis/(AGS+AGT)	0,12	0,11	0,32	0,22	0,27	0,26	0,13	0,21	0,10	0,08	2,84	1,66
(AGMI-cis+AGPI-cis)/(AGS+AGT)	0,51	0,47	1,03	0,92	0,98	0,91	0,57	0,79	0,35	0,30	3,97	2,83
ω6/ω3	27,78	19,44	20,61	25,80	24,61	21,26	-	-	-	-	8,38	43,92

La teneur en AGT dans les BE, BF, CK et GF varie entre 0.00% et 1.3% avec une teneur moyenne de 0.49%, valeurs inférieures à celles trouvées dans les « chocolate wafers » turcs qui varient entre 0.00% et 7.92% avec une teneur moyenne de 1.02% (Çakmak et al., 2010), La teneur en AGT dans les génoises (GE) est 2.08%, valeur inférieure à celle trouvée dans les cakes et pâtisseries néo-zélandais qui est de 6.5% (Saunders et al., 2008). Ces derniers ont conclu que les huiles partiellement hydrogénées sont utilisées avec parcimonie pour la fabrication des produits alimentaires en Nouvelle-Zélande. Karabulut et al., 2007 ont également trouvé des teneurs plus élevées en AGT variant entre 3.32 % et 17.71% dans une sélection de « bakery products » comprenant des cookies, wafer, cake filled and covered. Dans l'étude Transfair, qui a regroupé 14 pays européens pour étudier la composition en acides gras trans d'une large sélection de produits alimentaires industriels, Van ERP-Baart et al., 1998 ont trouvé des teneurs variant entre 0.01% et 33.32% dans une sélection de 203 types de « bakery products » : cookies, biscuits, cake, gaufrettes, pâtisseries, génoises, madeleines... Dans l'étude de Richter, 2009, une sélection de produits suisses (cookies, cakes, muffins...) a montré une teneur en AGT variant de 0.64-12.26% (en moyenne 3.99%).

Dans la catégorie biscuits, le C18:1t n'a été détecté que dans le BE2, avec une faible teneur de 1.17%. Les teneurs en C18:2t sont inférieures à 0.5%. Ces résultats ne sont pas en accord avec plusieurs études menées sur les biscuits, car ils présentent des valeurs plus faibles. On cite la teneur en AGT dans les biscuits néo-zélandais avec une moyenne de 3% (Saunders et *al.*, 2008) ; dans les biscuits serbes, qui présentent une teneur variant de 0.00-42.5% avec une teneur moyenne de 10.2% (Kravić et *al.*, 2011) ; dans les biscuits pakistanais, où la teneur en AGT varie entre 9.3 et 34.9% avec une valeur moyenne de 26.7% (Kandhor et *al.*, 2008b) ; et dans les biscuits coréens, où la teneur en AGT varie entre 0.1-5.3% (Adhikari et *al.*, 2010).

Dans les cookies (CK), les teneurs en AGT sont de 0.00% et 0.31%, inférieures aux valeurs trouvées par différents auteurs. Ainsi, les cookies ont une teneur moyenne en AGT de 3.65% (Adhikari et *al.*, 2010), 7.62% (Tavella et *al.*, 2000) et 8.4% (Albers et *al.*, 2008),

Dans l'étude de Kandhro et *al.*, 2010, la teneur en AGT dans les chips varie entre 4.91-14.13%, indiquant l'utilisation d'HVPH. Dans l'étude de Wagner et *al.*, 2008, les chips de pommes de terre contiennent en moyenne $2.4 \pm 4.2\%$ d'AGT. Dans cette présente étude, la teneur en AGT des CH varie entre 0.65-0.98%, valeur inférieure à 1, nettement plus faible que les valeurs trouvées dans les études sus-citées mais comparable aux résultats des études de Tavella et *al.*, 2000, où les chips de pomme de terre analysés ont une faible teneur en AGT (0.3%) et d'Albers et *al.*, 2008, qui n'ont pas détecté d'AGT dans les chips de pommes de terre analysés.

Les teneurs en AGS des échantillons de BE, BF, CK, GF sont supérieures à 50% (57.16% en moyenne) des acides gras totaux, valeur comparable à celle trouvée dans les « chocolate wafers » turcs d'une valeur de 53.27% (Çakmak et *al.*, 2010). Elle est, par contre, supérieure à celle trouvées par Karabulut, 2007 qui justifie une teneur supérieure à 40% d'AGS par la présence d'ingrédients riches en AGS tels que l'huile de palme, huile de coco, huile de palmiste et surtout l'huile végétale hydrogénée.

Les teneurs moyennes en AGS sont de 50.32% dans les BF et 66.68% dans les BE. Ces valeurs sont comparables à celles trouvées dans les biscuits coréens qui varient entre 53.8-67.2% (Adhikari et *al.*, 2010). Elles sont cependant supérieures à celles trouvées dans les biscuits pakistanais (42.1%) (Kandhor et *al.*, 2008b) et sont intermédiaires à celles trouvées dans les biscuits serbes (18.5-85.6%) (Kravić et *al.*, 2011).

Les cookies (CK) contiennent en moyenne 52.02% d'AGS, valeur supérieure à celles trouvées dans d'autres études qui sont de 42.2% dans les cookies de Tavella et *al.*, 2000 et 36.4 % dans l'étude d'Albers et *al.*, 2008. En revanche inférieure à la moyenne trouvée dans les cookies coréens d'une valeur de 58.85% (Adhikari, 2010).

Les gaufrettes (GF) contiennent en moyenne 59.78% d'AGS, valeur comparable à celle trouvée dans les « wafers » turcs avec une valeur de 56.22% dans l'étude de Karabulut et *al.*, 2007.

Les génoises (GE) contiennent des quantités excessives d'AGS, variant entre 72.3% et 75.13%. Elles sont supérieures à celle trouvée dans les « snack cakes » qui présentent une teneur de 42.8% (Albers et *al.*, 2008) mais comparable à celle trouvée dans les « cake, filled & covered » turcs qui présentent une teneur de 70.14% (Karabulut et *al.*, 2007).

Les chips (CH) contiennent en moyenne 22.46 % d'AGS, ce qui est comparable à la valeur trouvée par Albers et *al.*, 2008 dans les chips, qui est de 20.6%.

Au sein de la catégorie Biscuit, on distingue 2 types de produits : biscuits enrobés au chocolat (BE) et biscuits fourrés au chocolat (BF). L'acide gras saturé dominant est le C16:0 avec des teneurs variant entre 30.54 % dans le BE et 42.47% dans le BF. Les teneurs en C14:0 et C18:0 varient entre 1.15-6.82% et 4.48-10.84% dans le BF et BE, respectivement. Ces valeurs sont en accord avec les résultats obtenus par Kandhro et *al.*, 2008b dans les biscuits pakistanais qui contiennent 30.0-41.2% de C16:0 et 4.6-8.9% de C18:0 et elles sont intermédiaires par rapport à celles trouvées dans les biscuits serbes qui présentent des valeurs de C14:0 et C18:0 variant entre 0.6-10.1% et 2.6-18.6% respectivement, avec également une dominance du C16:0 (10.4-50.5%) (Kravić et *al.*, 2011). Cependant, dans l'étude de Çakmak et *al.*, 2010, les AGS C16 :0 et C18 :0 sont co-dominants dans les « chocolate wafers » turcs avec des teneurs variant entre 24.89-26.52% et 17.86-21.10% respectivement.

De quantités élevées de C12 :0 ont été détectées dans les BE et les GF, avec des teneurs moyennes de 15.24% et 9.47% respectivement alors qu'une plus faible teneur a été détectée dans les « chocolate wafers » turcs (5.11%), ce que l'auteur a quand même considéré comme étant une valeur élevée (Çakmak et *al.*, 2010). Kravić et *al.*, 2011 ont, en revanche, trouvé des valeurs plus élevées, variant dans certains échantillons de biscuits entre 15.7% et 37.2%. Dans les échantillons de GE, le C12:0 se révèle être l'acide gras saturé dominant, avec une valeur moyenne de 27.84%, comparable à celle trouvée dans les « cake, filled & covered » avec une valeur de 24.03% dans l'étude de Karabulut et *al.*, 2007. Cette forte présence d'acide laurique

indique l'utilisation de l'huile de palme ou de l'huile de noix de coco (Karabulut et *al.*, 2007 et Kravić et *al.*, 2011). (Apparemment c'est l'enrobage au chocolat qui demande le plus d'acide laurique. Ce dernier est également un AG principal utilisé lors de l'interestérisation).

Dans les CK, l'acide gras saturé dominant est le C16:0 (39.76%). Le C18:0 est à 5.75%. Ce qui n'est pas en accord avec les résultats de Tavella et *al.*, 2000 où les cookies contiennent moins de C16:0 (23.51%) et plus de C18:0 (16.88%).

Les plus faibles teneurs en C16:0 sont observées dans les chips avec 13.18% et 19.90%. Ceci ne correspond pas aux résultats trouvés dans les chips de pomme de terre pakistanaises qui présentent des valeurs variant entre 23.91-42,64%, indiquant l'utilisation de l'huile de palme pour la friture (Kandhro et *al.*, 2010).

Au sein des produits céréaliers, les BF et les CK présentent en moyenne les teneurs les plus élevées en AGI (49.20% et 49.34% respectivement) et les GE la teneur la plus faible 24.26%. Les autres produits ; BE et GF, présentent en moyenne des teneurs en AGI de 32.95% et 40.62% respectivement.

Les teneurs en AGI varient entre 32.07 % et 51.46% dans les biscuits enrobés (BE) et les biscuits fourrés (BF) respectivement, valeurs proches de celles trouvées dans les biscuits coréens qui présentent des valeurs variant entre 30.0% et 46.0% (Adhikari et *al.*, 2010).

Les teneurs en AGI varient entre 48.69-49.98% dans les cookies (CK), valeurs supérieures à celles trouvées dans les cookies coréens qui présentent des valeurs variant entre 33.1% et 41.9% (Adhikari et *al.*, 2010). Les chips (CH) présentent en moyenne une teneur en AGI de 77.39%.

La teneur moyenne en AGMI dans les biscuits est de 30.78%, valeur comparable à celle trouvée dans les biscuits serbes (31.2%) (Kravić et *al.*, 2011).

L'acide oléique (C18:1) est le principal acide gras mono-insaturé présent dans les BE, BF, CK et GF, avec une teneur moyenne de 31.32%, comparable à celle trouvée dans les « chocolate wafers » turcs d'une valeur moyenne de 34.93% (Çakmak et *al.*, 2010) et dans les biscuits serbes d'une valeur moyenne de 30.7% (Kravić et *al.*, 2011). Par contre, elle est supérieure à celle trouvée dans les échantillons de biscuits pakistanais (25.5%) (Kandhro et *al.*, 2008b). Ces derniers ont trouvé les mêmes faibles teneurs en C16:1 et C20:1, inférieures à 0.5%.

Les génoises (GE) présentent la plus faible teneur en AGMI, variant entre 16.91% et 18.14%. Les chips présentent des teneurs variant entre 22.80% (CH1) et 30.95% (CH2).

La teneur en AGPI varie entre 57.38% dans les CH1 et 43.65% dans les CH2. La teneur moyenne en AGPI dans les biscuits est de 10.58%, valeur supérieure à celle trouvée dans les biscuits serbes qui présentent une teneur moyenne de 7.7% (Kravić et *al.*, 2011). La teneur moyenne en AGPI est de 6.73 et 10.26 dans les GE et GF, respectivement. Karabulut et *al.*, 2007 ont trouvé des valeurs comparables, de 8.49% dans les « cake, filled & covered » et 10.52% dans les « wafers ».

L'acide linoléique (C18:2) est le principal acide gras polyinsaturé présent dans les BE, BF, CK et GF, avec une teneur moyenne de 10.95%, valeur comparable à celle trouvée dans les « chocolate wafers » turcs d'une valeur de 8.99% (Çakmak et *al.*, 2010) et les biscuits serbes avec un valeur moyenne de 7.5% (Kravić et *al.*, 2011). Le C18:3 est présent à des teneurs inférieures à 1%, ce qui est en accord avec les résultats trouvées dans l'étude de Kravić et *al.*, 2011. Selon Kravić et *al.*, 2011, la faible teneur en AGPI indique l'utilisation de graisses solides, souvent obtenues par hydrogénation des huiles végétales raffinées.

La teneur en C18:3 est de 6.12 % dans les CH1 et 0.97% dans les CH2, ce qui permet d'avancer que 2 huiles différentes ont été utilisées. En effet, selon les normes du codex alimentarius, une huile de soja contiendrait entre 4.5-11% de C18:3 et un maximum de 0.3% pour une huile de tournesol. Ainsi, pour les CH1, nous supposons qu'une huile de soja a été utilisée pour la friture et pour les CH2, il pourrait s'agir d'un mélange tournesol-soja.

Le rapport AGS/AGI est en moyenne de 1.03% dans les BF analysés. Cette teneur est plus faible que la moyenne trouvée dans les BE (2.02%). Les biscuits analysés possèdent en moyenne un rapport AGS/AGI supérieur aux biscuits pakistanais et turcs (1.53 contre 0.73 et 0.62 respectivement) (Kandhor et *al.*, 2008b, Daglioglu et *al.*, 2000), ce qui indique une forte proportion d'acides gras saturés. Cependant, les valeurs trouvées sont intermédiaires à celles trouvées dans 34 sortes de biscuits dans l'étude de Kravić et *al.*, 2011 qui ont trouvé un rapport variant entre 0.23 et 5.94. Les CK et les GF présentent en moyenne un rapport AGS/AGI de 1.06% et 1.50%, respectivement. Les GE présentent le rapport le plus élevé, qui est en moyenne de 3.06%.

Dans les biscuits (BE et BF), le rapport moyen AGPI-cis/AGS est de 0.19, proche de celui des gaufrettes (GF) (0.17). Il est comparable à celui trouvé dans les biscuits pakistanais (0.14%) (Kandhor et *al.*, 2008b) et les biscuits serbes (0.19%) (Kravić et *al.*, 2011) mais reste

en dessous de la valeur minimum recommandée par The British Department of Health (0.45) (Kandhor et al., 2008b). Il est de 0.27 dans les cookies (CK) et 0.09 dans les génoises (GE), valeurs correspondant aux résultats de Karabulut et al., 2007 qui ont trouvé des valeurs variant de 0.22 dans les « wafer » et 0.12 dans les « cake, filled & covered ». Les chips (CH) présentent le rapport AGPI-cis/AGS le plus élevé, d'une valeur moyenne de 2.33.

Le rapport AG *trans*/AG *cis* est pratiquement nul dans tous les échantillons analysés. Relativement aux BF et BE, d'autres études ont montré un rapport supérieur qui est en moyenne de 0.95 dans les biscuits pakistanais, 0.39 dans les biscuits brésiliens (Kandhor et al., 2008b) et 0.27 dans les biscuits (Kravić et al., 2011).

Les valeurs moyennes des indices $I_1 = \text{AGPI-cis}/(\text{AGS}+\text{AGT})$ et $I_2 = (\text{AGMI-cis}+\text{AGPI-cis})/(\text{AGS}+\text{AGT})$ des biscuits analysés (BE-BF) sont de 0.19 et 0.73 respectivement, supérieures à celles trouvées dans les biscuits pakistanais 0.08 et 0.47 % respectivement (Kandhor et al., 2008). Si on avait à classer les produits céréaliers analysés selon ces 2 ratios I_1 et I_3 , on attribuerait aux BF et CK les meilleurs rapports de (0.27 et 0.97) et (0.27 et 0.95) respectivement. Les GF, les BE et les GE présentent les plus faibles rapports de 0.17-0.68, 0.11-0.49 et 0.09-0.32 respectivement. Les chips (CH) présentent des rapports I_1 et I_3 de 2.25 et 3.40 respectivement.

Le rapport n-6/n-3 est excessif dans les produits de biscuiterie variant entre 19.44 et 27.78. Dans les génoises et les gaufrettes, le C18:3 n'a pas été détecté. Les CH2 présentent un rapport n-6/n-3 nettement plus déséquilibré que les CH1 (43.92 contre 8.38).

Conclusion

L'objectif de cette étude est d'analyser trois groupes distincts de produits alimentaires industriels, relativement à leur teneur en acides gras : huile de friture, margarines et graisses, produits de biscuiteries et chips. Nous soumettons dans cette conclusion les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus.

Huiles de Friture

La friture est l'opération culinaire la plus utilisée dans le monde car elle permet une amélioration sanitaire et gustative des aliments (Combe et Rossignol-Castera, 2010).

Au cours des opérations de friture, l'huile est soumise à des températures élevées (160-180°C), qui en présence d'eau et d'oxygène subit un grand nombre de réactions complexes qui peuvent être classés en trois grandes familles : oxydation, polymérisation et hydrolyse (Vitrac *et al.*, 2003).

Afin d'estimer la qualité de l'huile de tournesol utilisée en friture de pomme de terre (12 fritures d'une durée de 6mn chacune), nous avons réalisé des analyses physico-chimiques (indice d'acidité, de peroxyde, d'iode et évolution de la couleur), et avons déterminé le profil en acides gras par chromatographie en phase gazeuse.

Au terme de cette partie, il en ressort que l'huile de tournesol montre une bonne stabilité physico-chimique avec une faible modification du profil en acides gras, notamment au cours des premières fritures (1^{ère} - 6^{ème} fritures).

En effet, avec une teneur élevée en vitamine E, l'absence d'acide tri-insaturé, une origine non génétiquement modifiée, une saveur fruitée de graine, l'huile de tournesol est une matière première privilégiée pour la friture industrielle et ménagère (Combe et Rossignol-Castera, 2010).

En général, pour prévenir la dégradation prématurée d'une huile de friture, il est recommandé de respecter :

- Une proportion de 1 volume d'aliment pour 3 volumes d'huile selon Combe et Rossignol-Castera, 2010) ou 1 volume d'aliment pour 6 volumes d'huile selon Vitrac *et al.*, 2003) ;
- Une température d'huile de 175/180°C, sans jamais dépasser les 200°C ;
- Un séchage préalable de l'aliment,
- Une filtration de l'huile ou élimination des particules d'aliments ;

- Un nettoyage de la friteuse après chaque utilisation.

En suivant ces recommandations pratiques de friture, on peut considérer qu'un produit frit est un vecteur qualitatif, contribuant à l'apport d'acides gras essentiels dans notre régime alimentaire

Margarines et graisses

Les margarines sont des émulsions eau dans huile dont la teneur en lipides doit être comprise entre 10 et 90 % et auxquelles certains additifs peuvent être ajoutés (arôme, émulsifiant...). Les matières grasses tartinables sont définies par le règlement (CE) no 2991/94 du 5 décembre 1994, établissant des normes pour les matières grasses tartinables. Une margarine au sens réglementaire du terme contient 80 % de matière grasse (Saillard, 2010).

Plusieurs facteurs conditionnent la formulation des margarines. Ainsi, pour obtenir une consistance souple à l'utilisation (à la sortie du réfrigérateur) et des produits aptes à être tartinés, la présence d'une partie d'huile concrète, c'est-à-dire solide à température ambiante, dans la phase grasse est indispensable. On utilise, par exemple, du palme, du coprah, ou du beurre. Dans le cas des margarines à destination des professionnels (industriels ou aux artisans) pour la confection de pâtisserie, biscuits, produits de boulangerie fine....,elles présentent dans leur phase grasse une proportion d'huiles concrètes plus importante, pour répondre à la fois aux besoins de fonctionnalité imposés par les contraintes de travail des différentes applications (laminage, incorporation...) mais aussi aux qualités organoleptiques attendues (stabilité à l'oxydation, texture-croustillant, croquant, fondant...).

Par ailleurs, l'industriel en Algérie se trouve dans l'obligation de tenir compte de la température ambiante (en moyenne élevée) et le non respect de la chaîne de froid, lors de la formulation des margarines, notamment celles en plaquettes. Au Maroc, la situation est similaire (El Khaloui et *al.*, 1998).

Les indices établis pour estimer et comparer la qualité des acides gras présents dans des margarines et graisses ont montré que :

- Les margarines à tartiner en plaquette et les margarines de feuilletage possèdent les rapports les moins favorables d'un point de vue nutritionnel. En effet, on note une nette prédominance des acides gras saturés, notamment acide palmitique, par rapport aux AGMI et AGPI.
- Les margarines en barquette présentent les meilleurs rapports, révélant un apport significatif en acides gras mono et polyinsaturés.

- Entre les 2 produits smen, le SM2 présente un meilleur profil en acides gras mais son aspect liquide à température ambiante ne ralliera pas la ménagère à sa cause. Etant donné que le smen est composé uniquement de graisse végétale, sa forte teneur en AGS, même si elle est comparable à celle des margarines, contribuera d'avantage à un apport indésirable en acides gras hypercholestérolémiant, pour une même quantité de produit ingéré.

Produits de biscuiterie et chips

Le dosage des lipides a montré que les chips présentaient la teneur la plus élevée, suivies des biscuits enrobés, génoises, cookies et enfin des biscuits fourrés.

Le profil en acides gras a montré que :

- Les génoises présentent des teneurs excessives en AGS (73.84%), d'autant plus que ce produit est destiné aux enfants (un le matin et un autre à la sortie de l'école, tel que l'industriel le recommande !).
- Les biscuits enrobés au chocolat, les gaufrettes et les cookies présentent également de fortes teneurs en AGS. Les biscuits fourrés au chocolat, à un degré moindre, mais toujours supérieur à 50%.
- Les biscuits fourrés et les cookies présentent les meilleurs rapports entre les acides gras qui abaissent le cholestérol (somme des isomères cis de l'acide oléique, linoléique et linoléique) et les acides gras qui augmentent le cholestérol (acide laurique, myristique, palmitique et les AG trans). Les rapports les plus défavorables sont attribués aux génoises.
- Le profil en acides gras des chips montrent que 2 types d'huiles ont été utilisées pour les fritures. Il s'agirait de l'huile de soja et de tournesol. Notons que dans le cas des CH2, l'huile extraite présentait une couleur sombre, témoignant d'une altération avancée.

Conclusion générale

D'une manière générale, le profil en acides gras des margarines et graisses analysées ainsi que des biscuits, cookies, gaufrettes, génoises et chips, nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- La situation concernant la présence d'acides gras trans dans les aliments ne correspond pas à celle constatée dans les autres pays (Turquie, Malaisie, Maroc, Canada, Australie, Serbie, suisse, USA,...). En effet, dans ces pays là, les études menées dans

ce sens révèlent la présence de grandes quantités d'acides gras trans dans différents aliments industriels tels que ceux analysés dans cette étude. Ce qui a amené les autorités sanitaires à tirer la sonnette d'alarme et pour certains à légiférer pour réduire au maximum la présence d'AGT dans les aliments.

- Les faibles teneurs en AGT trouvées ne corroborent pas l'affirmation de certains industriels ni la mention sur l'emballage des produits quant à l'utilisation des huiles végétales partiellement hydrogénées. L'hypothèse de l'utilisation d'huiles totalement hydrogénées est apparemment à écarter, selon un industriel, qui précise que ça coûterait beaucoup trop cher. En effet, les HVPH sont majoritairement importées, la technologie d'hydrogénation n'étant pas commune en Algérie. « Seule » COGB, rachetée par GroupeLaBelle posséderait une unité d'hydrogénation.
- Cette étude, a, en revanche, montré que tous les produits analysés sont très riches en AGS, essentiellement acides laurique, myristique et palmitique, qui sont actuellement considérés à part, étant hypercholestérolémiant et impliqués dans un risque élevé de maladies cardio-vasculaires. Ce constat, confirme l'utilisation de grandes proportions d'huiles hautement saturés tels que l'huile de palme, coprah, palmiste.
- Dans les autres pays, principalement industrialisés (USA, Canada, Danemark...), la prise de conscience des consommateurs a poussé les industriels, soucieux de leur image de marque, à réduire la teneur en AGT dans leurs produits en remplaçant les HVPH par des huiles interestérifiées ou des huiles à haute teneur en AGS. C'est ainsi, que les études récentes ont justifié la réduction de la présence d'AGT dans les produits alimentaires par rapport à ceux présents sur le marché au début des années 90. Cependant, cette argumentation ne trouve pas sa place en Algérie, où les AGT sont presque totalement ignorés des consommateurs et des industriels et où la qualité « nutritionnelle » des aliments ne représente pas un critère de sélection. La justification, qui correspond, donc le plus, aux résultats trouvés est qu'étant donné le coût élevé des HVPH, l'industriel ne possède pas d'autres alternatives que l'utilisation des huiles à haute teneur en AGS, disponibles et moins coûteuses.

Au terme de cette étude, nous pouvons affirmer que certaines composantes de notre régime alimentaire apporteraient des quantités importantes d'acides gras saturés, voir même des petites quantités d'acides gras trans qui tendraient vers un déséquilibre nutritionnel avéré. Ce dernier s'accroît avec un glissement vers de nouvelles habitudes alimentaires,

plébiscitées par les ménages de plus en plus nombreux, inconscients du danger qu'ils font courir, à eux-mêmes et aux générations futures.

En effet, l'amélioration du niveau de vie et du pouvoir d'achat a fait exploser la restauration hors foyer et le grignotage, avec des aliments toujours plus sucrés, plus salés et plus gras, qui masquent en réalité des défauts technologiques et organoleptiques, et permettent à l'industriel ou au restaurateur d'écouler sa « marchandise » en toute impunité, sans se soucier des conséquences sur la santé. Les exemples les plus communs sont les « sandwich frites », « sandwich chawarma », hamburger, pizza, chips, toutes sortes de biscuits et gaufrettes...

L'apparition de plus en plus visible d'enfants obèses (évaluée entre 8-10%), l'augmentation des cas de diabète, d'hypertension et de maladies cardiovasculaires, sans oublier l'apparition de nouveaux cancers (digestifs) et d'allergies, ne sont donc que le fruit de cette nouvelle ère alimentaire.

Enfin, un bien être des populations ne doit pas s'accompagner d'un rush sur les établissements de santé. Des campagnes de prévention et d'information doivent dès à présent être mises en place, accompagnées de mesures législatives.

Besoins et recommandations (FAO, 2010 et Anses, 2011)

Les apports nutritionnels conseillés (ANC) sont basés sur les besoins physiologiques minimaux, en prenant en compte les aspects physiopathologiques des acides gras. A titre d'exemple pour un adulte consommant 2000 kCal, il en résulte les recommandations suivantes :

Lipides totaux : 20-30 % de l'apport énergétique (AE), répartis de la façon suivante :

- AGS totaux : ≤ 10 %, dont ≤ 8 % pour la somme C12:0 + C14:0 + C16:0 ;
- AGMI : 15-20 % de C18 : 1 n-9 ;
- AGPI : 4% de C18 : 2 n-6, 1% de C18 : 3 n-3 ; 250mg d'EPA et 250mg de DHA.
- Pour les AGT, la limite maximale est maintenue à 1-2 % de l'AE.

- Ackman R.G., Mag T.K. (1998). Trans fatty acids and the potential for less in technical products. In *Trans fatty acids in human nutrition*, Sébédio J.-L., Christie W.W., eds., The Oily Press, Dundee, pp 35-58.
- Adhikari P., Yu F., Lee J-H., Park H.K., Kim J.W., Lee E.J., Lee K-T., 2010. Comparative Study of Trans Fatty Acid Content in 2005 and 2008 Processed Foods from Korean Market. *Food sci. Biotechnol.* 19(2), pp 335-341.
- Ailhaud, G., Massiera, F., Weill, P., Legrand, P., Alessandri, J. M. & Guesnet, P., 2006. Temporal changes in dietary fats: role of n-6 polyunsaturated fatty acids in excessive adipose tissue development and relationship to obesity. *Prog Lipid Res*, 45, pp203-236.
- Al Darwich A., 2009. Métabolisme lipidique et cryorésistance des embryons dans l'espèce bovine. Thèse de doctorat, pp 1-208.
- Alain Raisonnier, 2010. Biochimie métabolique et régulation. Structures biologiques. pp 1-169.
- Albani Jihad René, 2008. Biochimie générale.
- Albers M.J., Harnack L.J., Steffen L.M., Jacobs D.R., 2008. 2006 Marketplace Survey of Trans -Fatty Acid Content of Margarines and Butters, Cookies and Snack Cakes, and Savory Snacks. *Journal of the American dietetic association*. Volume 108 Number 2, pp 367-370.
- Alonso L., Fraga M.J., Juarez M., 2000. Determination of trans fatty acids and fatty acid profiles in margarines marketed in Spain. J9141 in *JAOCS* 77, pp 131-136.
- Anwar F., Bhangar M.I., Iqbal S., Sultana B., 2006. Fatty acid composition of different margarines and butters from pakistan with special emphasis on *trans* unsaturated contents. *Journal of food quality*, 29, pp 87-96.
- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th ed *In* Trans fatty acids in the New Zealand food supply. Saunders D., Jones S., Devane G.J., Scholes P., Lake R.J., Paulin S.M., 2008 *Journal of Food Composition and Analysis*.
- Aro A., Kosmeijer-Schuil T., Van Der Bovenkamp P., Hulshof P., Zock P.L., Katan M.B., 1998a. Analysis of C18:1 cis and trans fatty acid isomers by the combination of gas-liquid chromatography of 4,4-dimethyloxazoline derivatives and methyl esters. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 75, pp 977-985.
- Aro A., Van Amelsvoort J., Becker W., Erp-Baart M.A.V., Kafatos A., Leth T., Poppel G.V., 1998b. Trans Fatty Acids in Dietary Fats and Oils from 14 European Countries: The TRANSFAIR Study. *Journal of food composition and analysis* 11, pp 137-149.

- Astorg P-O, Bougnoux P., Calvarin J., Chalon S., Dallongeville J., Dumas C., Friocourt P., Gerber M., Guesnet P., Kalonji E., Lapillonne A., Morise A., Lecerf J-M., Margaritis I., Moulin P., Pieroni G., Legrand P., 2011. Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. Rapport d'expertise collective. Anses, pp 1-327.
- Astrup A.V., Bazinet R., Brenna J.T., Calder P.C., Crawford M.A., Dangour A., Donahoo, W.T., Elmadfa I., Galli C., Gerber M., Henry C.J., Kornsteiner-Krenn M., Lapillonne A., Melanson E.L., Miller J., Mozaffarian D., Ratnayake W.M.N., Sanders T.A.B., Sinclair A.J., Skeaff C.M., Smit L.A., Uauy R., Wolmarans P., Willet W., 2010. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. FAO FOOD AND NUTRITION PAPER. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
- Augusto P.E.D., Soares B.M.C., Chiu M.C., Gonçalves L.A.G., 2012. Modelling the effect of temperature on the lipid solid fat content (SFC). *Food Research International* 45, pp 132– 135.
- Bach, A. C. & Babayan, V. K., 1982. Medium-chain triglycerides: an update. *Am J Clin Nutr*, 36, pp 950-962.
- Bansal G., Zhou W., Tan T-W., Neo F-L., Lo H-L, 2009. Analysis of trans fatty acids in deep frying oils by three different approaches. *Analytical Methods. Food Chemistry* 116, pp 535– 541.
- Bayard C.C., Wolff R.L., 1995. Trans-18:1 Acids in French Tub Margarines and Shortenings: Recent Trends. *JAACS*, Vol. 72, no. 12, pp 1485-1489.
- Baylin A., Siles X., Donovan-Palmer A., Fernandez X., Campos H., 2007. Fatty acid composition of Costa Rican foods including trans fatty acid content. *Journal of Food Composition and Analysis* 20 pp 182 – 192)
- Bergouignan A., Blanc S., Simon C., 2010. « calories et obésité » : quantité ou qualité ? *Cahiers de nutrition et de diététique*, 45, pp 180-189.
- Berthoud Laurie, Real Mathilde. 2008. Pourquoi se méfier des Acides Gras Trans ? pp 1-4.
- Bougnoux, P., Corpet, D. E., Gerber, M., 1996. AG alimentaires et cancérogénèse. In Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. Astrog P-O., et al., 2011. Rapport d'expertise collective. Anses
- Bourre J.M, François M., Weidner C., Youyou A., Dumont O., Piciotti M., Pascal G., Durand G., 1988. Importance de l'acide linoléique alimentaire sur la composition des membranes nerveuses, le contrôle d'activités enzymatiques, l'amplitude de paramètres électrophysiologiques, la résistance aux toxiques et les performances d'apprentissage. In *Biologie des lipids chez l'homme. De la physiologie à la pathologie*. Douste-Blazy L., Mendy f. CNRS-CNERNA.

- Brát J., Pokorný J., 2000. Fatty Acid Composition of Margarines and Cooking Fats Available on the Czech Market. *Journal of food composition and analysis*, 13, pp 337-343.
- Brenna, J. T. (2002) Efficiency of conversion of α -linolenic acid to long chain n-3 fatty acids in man. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 5, 127-32. In Anses, 2011. Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras Rapport d'expertise collective. Revue scientifique. Anses.
- Breton J.C, 1988. Acides gras, quelques éléments spécifiques. *IN Biologie des lipides chez l'homme. De la physiologie à la pathologie*. L. Douste-Blazy, F. Mendy. Editions médicales internationales. CNRS-CNERNA.
- Brisson G., 1982. Lipides et nutrition humaine : Analyse des données récentes sur les corps gras alimentaires. Presse université Laval. 192 pages.
- Brunner, E. J., Wunsch, H. & Marmot, M. G. (2001) What is an optimal diet? Relationship of macronutrient intake to obesity, glucose tolerance, lipoprotein cholesterol levels and the metabolic syndrome in the Whitehall II study. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 25, pp 45-53.
- Bucher H.C., Hengstler P., Schindler C., Gabriela Meier G., 2002. N-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Coronary Heart Disease: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Am J Med*. 2002, 112, pp 298 –304.
- Çakmak Y.S., Güler G.Ö, Sek A.A., 2010. Trans Fatty Acid Contents in Chocolates and Chocolate Wafers in Turkey. *Czech J. Food Sci*. Vol. 28, No. 3, pp 177–184.
- Capuano E., Oliviero T., Açar O.C., Gökmen V., Fogliano V., 2010. Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat-rich model systems. *Food Research International* 43, pp 1021–1026.
- Castetbon, K., Vernay, M., Deschamps, V., Salanave, B., Malon, A. & Hercberg, S., 2008. Situation nutritionnelle en France selon les indicateurs d'objectif et les repères du Programme national nutrition santé (PNNS) - Étude nationale nutrition santé (ENNS, 2006) : prévalences de l'obésité, de l'hypertension artérielle et des dyslipidémies. *Obésité*, 3, pp 19-26.
- Chardigny Jean-Michel, Malpuech-Brugere Corinne, 2007. Acides gras trans et conjugués : origine et effets nutritionnels. *Nutrition clinique et métabolisme* 21. pp 46– 51.
- Chilliard Y., Ferlay A., Doreau M. (2001). Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières : acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. *INRA Prod. Anim.*,14, pp 323 – 335.
- Codex Alimentarius, 1999. Norme pour les huiles végétales portant un nom spécifique. STAN 210-1999. Adopté 1999. Révisions 2001, 2003, 2009. Amendé 2005, 2011, pp 1-17.

- Colette C., Monnier L., 2011. Acides gras : classification, fonction et équilibre entre les différentes familles. *Médecine des maladies Métaboliques* - Juin 2011 - Vol. 5 - N°3. pp 237-245.
- Combe N., Rossignol-Castera A., 2010. Huiles végétales et friture. *Cahiers de nutrition et diététique* 45, S44-S51.
- Courtois J-E., Roland P., 1960. Constitution et propriétés des lipides. *Précis de chimie biologique*. Tome 2. Edition Masson. pp 1-56.
- Daglioglu O., Tasan M., Tuncel B., 2000. Determination of fatty acid composition and total trans fatty acids of Turkish biscuits by capillary gas-liquid chromatography. *Eur Food Res Technol*, 211, pp 41–44.
- Dallongeville J., Gruson E., Dauchet L., 2008. ACIDES GRAS ALIMENTAIRES ET RISQUE CARDIO-VASCULAIRE. *Cah. Nutr. Diét.*, 43, Hors-série 1, pp 1S52- 1S57.
- Danet S., 2005. Rapport de synthèse sur le dépistage et le diagnostic du diabète gestationnel. HAS (Haute autorité de santé), pp 1-12.
- Delacharlerie S., De Biourge S., Chèné C., Sindic M., Deroanne C., 2008. HACCP organoleptique : Guide pratique. Presses Agronomiques de Gembloux.
- Delplanque B., 2002. Définition des limites de flexibilité des apports en acides oléique, linoléique et alpha-linolénique sur la lipidémie et les paramètres d'athérothrombose chez l'homme : intérêt des huiles végétales combinées Oleagineux Corps gras Lipides, 9, pp 237-244.
- Destailats F., Cruz-Hernandez C., 2007. Fast analysis by gas-liquid chromatography Perspective on the resolution of complex fatty acid compositions. *Journal of Chromatography A*, 1169, pp 175–178.
- Dubois V, Breton S, Linder M, Fanni J, Parmentier M., 2007. Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential. In *Tous les acides gras saturés ont-ils le même effet métabolique ? Nutrition clinique et métabolisme* Walrand S., Fisch F., Bourre J-M. *Nutrition clinique et métabolisme*, 24, pp 63–75.
- El Khaloui M., Rahmani M., Hachimi L., Zahar M., 1998. Qualité physico-chimique de la margarine produite au Maroc. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*. Volume 5, Numéro 4, pp 318-322.
- El Roz A, Huvelin J-M, Bard J-M, Nazih H., 2011. L'effet antiprolifératif de l'isomère trans9, trans11 de l'acide linoléique conjugué sur les cellules du cancer du sein MCF-7 est associé à une activation du facteur nucléaire LXR. *Abstracts/Nutrition clinique et métabolisme* 25, pp S51–S153.

- Erkkilä A., De Mello V.D.F, Risérus U., David E. Laaksonen D.E, 2008. Dietary fatty acids and cardiovascular disease : An epidemiological approach *Progress in Lipid Research* 47, pp 172–187.
- Falinska A.M, Bascoul-Colombo C., Guschina I.A., Good M., Harwood J.L., 2012. The role of n-3 dietary polyunsaturated fatty acids in brain function and ameliorating Alzheimer's disease: Opportunities for biotechnology in the development of nutraceuticals. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 1, pp 159–166.
- Féart, E. Peuchant, L. Letenneur, C. Samieri, D. Montagnier, A. Fourrier-Reglat, P. Barberger-Gateau, 2008. La sévérité de la symptomatologie dépressive est inversement associée à l'acide eicosapentaénoïque (EPA) plasmatique chez les sujets âgés de Bordeaux. *Communications affichées / Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 56S, pp S295–S332.
- Forouhi N.G., Sharp S.J., Du H., van der A D.L., Halkjoer J., Schulze M.B., Tjønneland A., Overvad K., Jakobsen M.U., Boeing H., Buijsse B., Palli D., Masala G., Feskens E.J.M., Sørensen T.I.A, Wareham N.J., 2009. Dietary fat intake and subsequent weight change in adults: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition cohorts. *Am J Clin Nutr*; 90:1632–41.
- Frénot M., Vierling E., 2002. *Biochimie des aliments : diététique du sujet bien portant*. Editions Doin.
- Fumeron F., 2010. Acides gras saturés et maladies cardiovasculaires : une méta-analyse des cohortes prospectives sème le doute. *CERINUT*. Numéro 118. 1p.
- Garayo J., Moreira R., 2002. Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering* 55, pp 181–191.
- Gélinas Pierre, 2008. Reformulation des produits pour réduire ou éliminer les gras trans **GUIDE POUR L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE**. CTAC. Conseil de la transformation agroalimentaire et des produits de consommation. pp 1-26.
- Gerber M., P. Bougnoux P., 2005. AG trans, CLA et cancers. In *Risques et bénéfices pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments – Recommandations*. AFSSA, pp 157-164.
- Gertz C., Matthäus B., 2008. Recommendations by the German Society for Fat Science. Optimum deep-frying. *Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft (DGF)*, pp 1-24.
- Gertz C., S. Kochhar P., 2001. A new method to determine oxidative stability of vegetable fats and oils at simulated frying temperature. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*. Volume 8, Numéro 1, pp 82-88.

- Gomez -merino D., Portero P., 2008. Nutrition lipidique, santé et sport. *Kinesither Rev.* pp 57-62.
- Greenfield H., Southgate D.A.T., 2007. Données sur la composition des aliments PRODUCTION, GESTION ET UTILISATION. Seconde édition. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Guesnet P., Alessandri J-M., Astorg P., Pifferi F., Laviaille M., 2005. Les rôles physiologiques majeurs exercés par les acides gras polyinsaturés (AGPI). *OCL Vol. 12 N° 5-6*, pp 1-11.
- Guillén M.D., Cabo N., 2002. Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. *Analytical, Nutritional and Clinical Methods Section. Food Chemistry 77*, pp 503–510.
- Gupta-Monoj K., 2005. Frying oil. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Sixth Edition, Six Volume Set*, pp 1-32.
- Hartweg, J., Farmer, A. J., Perera, R., Holman, R. R. & Neil, H. A., 2007. Meta-analysis of the effects of n-3 polyunsaturated fatty acids on lipoproteins and other emerging lipid cardiovascular risk markers in patients with type 2 diabetes. *Diabetologia*, 50, pp 1593-1602.
- Hernandez-Martinez M., Gallardo-Velazquez T., Osorio-Revilla G., 2011. Fatty Acid Profile Including Trans Fatty Acid Content of Margarines Marketed in Mexico. *J Am Oil Chem Soc*, 88, pp 1485–1495.
- Hicks M., Gebiki J.M., 1979. A spectrometric method for the determination of lipid hydroperoxides. *Analytical biochemistry*, volume 99, issue 2, pp 249-253.
- Idris N.A., DeMan L., Tang T.S., Chong C.L., 1996. Chemical Composition and Physical Properties of Soft (tub) Margarines Sold in Malaysia. *JAOCS*, Vol. 73, no. 8. Pp 995-1001.
- Isabelle HININGER-FAVIER, 2010. Les lipides et dérivés. Les acides gras.
- Joshi-Barve S, Barve SS, Amancherla K, Gobejishvili L, Hill D, Cave M, et al., 2007. Palmitic acid induces production of proinflammatory cytokine interleukin-8 from hepatocytes. In *Tous les acides gras saturés ont-ils le même effet métabolique ? Walrand S., Fisch F., Bourre J-M.*, 2010.
- Kandhro A., Sherazi S.T.H., Mahesar S.A., Bhangar M.I., Talpur M.Y., Arain S., 2008b. Monitoring of Fat Content, Free Fatty Acid and Fatty Acid Profile Including trans Fat in Pakistani Biscuits. *J Am Oil Chem Soc*, 85, pp 1057–1061.
- Kandhro A., Sherazi S.T.H., Mahesar S.A., Bhangar M.I., Talpur M.Y., Latif Y., 2010. Variation in Fatty Acids Composition Including Trans Fat in Different Brands of Potato Chips by GC-MS. *Pak. J. Anal. Environ. Chem.* Vol. 11, No. 1. pp 36-41

- Kandhro A., Sherazi S.T.H., Mahesar S.A., Bhangar M.I, Talpur M.Y., Rauf A., 2008a. GC-MS quantification of fatty acid profile including trans FA in the locally manufactured margarines of Pakistan. *Analytical Methods. Food chemistry* 109, pp 207-211.
- Karabulut I., 2007. Fatty acid composition of frequently consumed foods in Turkey with special emphasis on trans fatty acids. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 58(8), pp 619-628.
- Karabulut I., Turan S., 2006. Some properties of margarines and shortenings marketed in Turkey. *Journal of food composition and analysis* 19, pp 55-58.
- Karleskind A., 1992. *Manuel des Corps Gras*, vol. 1, ed. Lavoisier Tec & Doc.
- Kita A., Lisinska G., Gołubowska G., 2007. The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food Chemistry* 102, pp 1–5.
- Krachler, B., Norberg, M., Eriksson, J. W., Hallmans, G., Johansson, I., Vessby, B., Weinehall, L., Lindahl, B., 2008. Fatty acid profile of the erythrocyte membrane preceding development of type 2 diabetes mellitus. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 18, 503-10.
- Kravić S.Z., Suturović Z.J., Švarc-Gajić J.V., Stojanović A.S., Pucarević M.M., Nikolić I.R., 2011. Fatty acid composition including trans-isomers of Serbian biscuits. *Hem. Ind.* 65 (2), pp 139–146.
- Kyu Cho I., Kim S., Khurana H.K., Li Q.X., Jun S., 2011. Quantification of trans fatty acid content in French fries of local food service retailers using attenuated total reflection – Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Chemistry* 125, pp 1121–1125.
- L'Abbé M.R., Brown B., 2006. TRANSforming the food supply. Report of the Trans Fat Task Force Submitted to the Minister of Health.
- Laporte François, 2007. *Acides gras*.
- Lecerf J.M., 2008. *Acides gras et maladies Cardiovasculaires. De l'épidémiologie à la pratique clinique*. CERINUT. Numéro 110, pp 1-6.
- Lecerf J-M., 2007. *Lipides et santé*. Cah. Nutr. Diét., 42, Hors série 1.
- Ledoux M., Juanéda P., Sébédio J-L., 2005. Définition, origines et méthodologies analytiques. In *Risques et bénéfices pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments – Recommandations*. AFSSA. pp 15-46.
- Ledoux M., Laloux L., Sauvant D., 2000. Les isomères trans des acides gras : origine et présence dans l'alimentation. *Sci. Alim.*, 20, 393-411.
- Ledoux M., Rouzeau A., Sauvant D., Bas P. (2002). Occurrence of trans-C18:1 fatty acid isomers in goat milk: Effect of two dietary regimens. *J. Dairy Sci.*, 85, 190 – 197. In *Risques et bénéfices pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments – Recommandations*. AFSSA. pp 15-46.

- Léger C-L., Razanamahefa L., 2005. Risques et bénéfices pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments. Recommandations. OCL VOL. 12 N° 1, pp 61-67.
- Legrand P., 2007. Les acides gras : Structures, fonctions, apports nutritionnels conseillés. Huiles et santé. Cah. Nutr. Diét., 42, Hors série 1. pp 7-12.
- Legrand P., 2010. Les nouveaux ANC en acides gras. Une actualisation nécessaire. CERINUT. numéro 118, pp 1-6.
- Legrand, P., Rioux, V., 2010. The complex and important cellular and metabolic functions of saturated fatty acids. *Lipids*, 45, pp 941-946.
- Lemaitre R.N., King I.B., Mozaffarian D., Sotoodehnia N., Rea T.D., Kuller L.H., Tracy R.P., Siscovick D.S., 2006. Plasma phospholipid trans fatty acids, fatal ischemic heart disease, and sudden cardiac death in older adults. In *trans Fatty Acid Content of Canadian Margarines Prior to Mandatory trans Fat Labelling*. Ratnayake W.M.N., Gagnon C., Dumais L., Lillycrop W., Wong L., Meleta M., Calway P.
- Lemaitre R.N., King I.B., Raghunathan T.E., Pearce R.M., Weinmann S., Knopp R.H., Copas M.K., Cobb L.A., Siscovick D.S., 2002. Cell membrane trans-fatty acids and the risk of primary cardiac arrest. In *trans Fatty Acid Content of Canadian Margarines Prior to Mandatory trans Fat Labelling*. Ratnayake W.M.N., Gagnon C., Dumais L., Lillycrop W., Wong L., Meleta M., Calway P.
- Letha T., Bysteda A., Hansen K., Ovesen L., 2003. Trans FA Content in Danish Margarines and Shortenings. J10419 in *JAOCS*, Vol. 80, no. 5, pp 475–478.
- Linden G., Lorient D., 1994. Biochimie agro-industrielle. Valorisation alimentaire de la production agricole. Editions Masson, pp 90-100.
- List G.R., Steidley K.R., Neff W.E., 2000. Commercial spreads formulation, structure and properties. *Food technology*. Volume 11, pp 980-986.
- Liu W.H., Inbaraj B.S., Chen B.H., 2007. Analysis and formation of trans fatty acids in hydrogenated soybean oil during heating. *Analytical, Nutritional and Clinical Methods. Food Chemistry* 104, pp 1740–1749.
- Lopez-Huertas E., 2010. Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies *Pharmacological Research* 61, pp 200–207.
- Lovejoy, J. C., Windhauser, M. M., Rood, J. C. & de la Bretonne, J. A., 1998. Effect of a controlled high-fat versus low-fat diet on insulin sensitivity and leptin levels in African-American and Caucasian women. *Metabolism*, 47, pp 1520-1524.
- Maes M., Christophe A., Bosmans E., Lin A., Neels H., 2000. Humans, Serum Polyunsaturated Fatty Acid Levels Predict the Response of Proinflammatory Cytokines to Psychologic Stress. *Society of Biological Psychiatry*, 47, pp 910 –920.

- Magali P., 2008. Profil et métabolisme des acides gras dans les tissus de la perche commune *Perca fluviatilis* L. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine. pp 1-193.
- Mantovani A., 2008. Cancer-related Inflammation: The Seventh Hallmark of Cancer. *American Society of Clinical Oncology*, pp 723-726.
- Martin C.A., Carapelli R., Visantainer J.V., Matsushita M., Evelazio de Souza N., 2005. Trans fatty acid content of Brazilian biscuits. *Food Chemistry* 93, pp 445–448.
- Mathieu G., Oualian C., Denis I., Lavialle M., Gisquet-Verrier P., Vancassel S., 2011. Dietary n-3 polyunsaturated fatty acid deprivation together with early maternal separation increases anxiety and vulnerability to stress in adult rats. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 85, pp 129–136.
- Mensink R.P., 2005. Effects of stearic acid on plasma lipid and lipoproteins in humans. *Lipids*, 40, pp 1201-1205.
- Mengual R., 2012. Métabolisme des Eicosanoïdes. pp 1-11.
- Monnier L., 2011. Acides gras oméga 3 et pathologie cardiovasculaire : la part du vrai. *Médecine des maladies Métaboliques - Vol. 5 - N°3*, pp 1-9.
- MORIN O., 2005. Acides gras trans : récents développements. *OCL VOL. 12 N° 5-6*, pp 414-421.
- MORIN O., 2005. Acides gras trans : récents développements. *OCL VOL. 12 N° 5-6*.
- Morris D.H., 2004. Les effets anticancérogènes de l'acide linoléique conjugué (ALC). *Perspective sur la nutrition*, pp 1-6.
- Mozaffarian D., Wu J.H.Y., 2011. Omega-3 Fatty Acids and Cardiovascular Disease Effects on Risk Factors, Molecular Pathways, and Clinical Events. *Journal of the American College of Cardiology*. Vol. 58, No. 20, pp 2047–2067.
- Naudet M., 1992. Principaux constituants des corps gras. **In** *Manuel des Corps Gras*, vol. 1, Karleskind A., ed., Lavoisier Tec & Doc, pages 65 – 113.
- Noor Lidaa H.M.D, Sundrama K., Siewa W.L., Aminahb A., Mamotb S., 2002. TAG Composition and Solid Fat Content of Palm Oil, Sunflower Oil, and Palm Kernel Olein Blends Before and After Chemical Interesterification. Paper no. J10270 in *JAOCS* 79, pp 1137–1144.
- Nosaka, N., Maki, H., Suzuki, Y., Haruna, H., Ohara, A., Kasai, M., Tsuji, H., Aoyama, T., Okazaki, M., Igarashi, O. & Kondo, K., 2003. Effects of margarine containing medium-chain triacylglycerols on body fat reduction in humans. *J Atheroscler Thromb*, 10, 290-8.
- Nosaka, N., Maki, H., Suzuki, Y., Haruna, H., Ohara, A., Kasai, M., Tsuji, H., Aoyama, T., Okazaki, M., Igarashi, O. & Kondo, K., 2003. Effects of margarine containing medium-chain triacylglycerols on body fat reduction in humans. *J Atheroscler Thromb*, 10, pp 290-298.

OMS, 2011. Maladies cardiovasculaires.

Ovesen L., Leth T., Hansen K., 1998. Fatty acid composition and contents of trans monounsaturated fatty acids in frying fats, and in margarines and shortenings marketed in Denmark. *JAOCS*, vol. 75, n°9, pp 1079-1083.

Parcerisa J, Codony R, Boatella J, Rafecas M, 1999. Fatty acids including trans content of commercial bakery products manufactured in Spain. *J Agric Food Chem.* 47(5), pp 2040-2043.

Pascal G., 2009. Les acides gras trans : origine, impact santé, évolution de leur teneur dans les aliments en France au cours des dernières années. Les mises au point de l'IFN.

Persinet E., 2011. Le rôle du pharmacien d'officine dans la prise en charge du syndrome métabolique et du risque cardiovasculaire associé. Thèse docteur d'Etat.

Petrovic M., Kezic N., Bolanca V., 2010. Optimization of the GC method for routine analysis of the fatty acid profile in several food samples. *Analytical Methods. Food Chemistry* 122, pp 285–291.

Poisson J-P., Narce M., 2003. Corps gras alimentaires : aspects chimiques, biochimiques et nutritionnels. In *Lipides et corps gras alimentaires*. Jean Graille. Collection sciences et techniques agroalimentaires. Edition Tec & Doc.

Pokorny J., 2003. Problèmes de stabilité des produits alimentaires liés à la présence des lipides. In *Lipides et corps gras alimentaires*. Jean Graille. Collection sciences et techniques agroalimentaires. Edition Tec & Doc.

Precht D., Molkentin J. (1997a). Effect of feeding on trans positional isomers of octadecenoic acid in milk fats. *Milchwissenschaft*, 52, 564-568. In *Risques et bénéfices pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments – Recommandations*. AFSSA. pp 15-46.

Priego-Capote F., Ruiz-Jiménez J., Luque de Castro M.D., 2007. Identification and quantification of trans fatty acids in bakeryproducts by gas chromatography–mass spectrometry after focused microwave Soxhlet extraction. *Analytical, Nutritional and Clinical Methods. Food Chemistry* 100, pp 859–867.

Rahmani M., 2007. Méthodes d'évaluation de la stabilité oxydative des lipides. *Les technologies de laboratoire*, n°2, pp 18-21.

Ratnayake W.M.N., Gagnon C., Dumais L., Lillycrop W., Wong L., Meleta M., Calway P., 2007. *trans* Fatty Acid Content of Canadian Margarines Prior to Mandatory trans Fat Labelling. *J Am Oil Chem Soc* 84, pp 817–825.

Ribeiro A.N.B., Basso R.C., Grimaldi R., Gioielli L.A., Gonçalves L.A.G., 2009. Instrumental Methods for the Evaluation of Interesterified Fats. *Food Anal. Methods*, pp 282–302.

- Richter E.K., Shawish K.A., Scheeder M.R.L., Colombani P., C., 2009. Trans fatty acid content of selected Swiss foods: The TransSwissPilot study. *Journal of Food Composition and Analysis* 22, pp 479–484.
- Rioux, V., Lemarchal, P. & Legrand, P., 2000. Myristic acid, unlike palmitic acid, is rapidly metabolized in cultured rat hepatocytes. *J Nutr Biochem*, 11, pp 198-207.
- Romero A., Cuesta C., Sanchez-Muniz F.J., 2000. Trans fatty acid production in deep fat frying of frozen foods with different oils and frying modalities. *Nutrition Research*, Vol. 20, N° 4, pp 599-608.
- Romero A., Bastida S., Sanchez-Muniz F.J., 2006. Cyclic fatty acid monomer formation in domestic frying of frozen foods in sunflower oil and high oleic acid sunflower oil without oil replenishment. *Food and Chemical Toxicology* 44, pp 1674–1681.
- Russo G.L., 2009. Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochemical pharmacology* 77, 2009, pp 937–946.
- Sablonnière B., 2006. Les lipoprotéines : transporteurs des lipides extracellulaires. *Biochimie et biologie moléculaire. Pour les sciences de la vie et de la santé.* pp 215-221.
- Saillard M., 2010. Margarine et matières grasses tartinables. *Cahiers de nutrition et de diététique* 45, pp274—280.
- Saunders D., Jones S., Devane G.J., Scholes P., Lake R.J., Paulin S.M., 2008. Trans fatty acids in the New Zealand food supply. *Journal of Food Composition and Analysis* 21, pp 320 – 325.
- Sébédio J.-L., Chardigny J.-M. (1998). Biochemistry of trans polyunsaturated fatty acids. In *Risques et bénéfices pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments – Recommandations.* AFSSA. pp 15-46.
- Sébédio J.-L., Grandgirard A., Prevost J. (1988). Linoleic acid isomers in heat treated sunflower oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 65, 362-366.
- Sebedio Jean-Louis, 2007. Acides gras trans : nature, origine et impact sur la santé. *Cah. Nutr. Diét.*, 42, 5.
- Seppänen-Laakso T., Laakso I., Hiltunen R., 2002. Analysis of fatty acids by gas chromatography, and its relevance to research on health and nutrition. *Analytica Chimica Acta* 465, pp 39–62.
- Shirasawa S., Sasaki A., Saida Y., Satoh C., 2007. A Rapid Method for Trans-Fatty Acid Determination Using a Single Capillary GC. *Journal of Oleo Science*, 56, (2). pp 53-58.

- Shoji K., Kazutaka Y., Masatoshi N., 2005. Rapid Discrimination of Fatty Acid Composition in Fats and Oils by Electrospray Ionization Mass Spectrometry. *Analytical Sciences*, vol.12, N°12, pp 1457-1465.
- Shulman GI., 2000. Cellular mechanisms of insulin resistance. *J Clin Invest*, 106, pp 171–176.
- St-Onge, M. P. et Bosarge, A., 2008. Weight-loss diet that includes consumption of medium-chain triacylglycerol oil leads to a greater rate of weight and fat mass loss than does olive oil. *Am J Clin Nutr*, 87, pp 621-626.
- Tachibana, S., Sato, K., Cho, Y., Chiba, T., Schneider, W. J. & Akiba, Y., 2005. Octanoate reduces very low-density lipoprotein secretion by decreasing the synthesis of apolipoprotein B in primary cultures of chicken hepatocytes. *Biochim Biophys Acta*, 1737, 36-43.
- Tasan M., Demirci M., 2003. Trans FA in Sunflower Oil at Different Steps of Refining. Paper no. J10461 in *JAOCS* 80, pp 825–828.
- Tavella M., Peterson G., Espeche M., Cavallero E., Cipolla L., Perego L., Caballero B., 2000. Trans fatty acid content of a selection of foods in Argentina. *Analytical, Nutritional and Clinical Methods Section. Food Chemistry* 69, pp 209-213.
- Teitelbaum J.E., Walker W.A., 2001. Review: the role of omega 3 fatty acids in intestinal inflammation. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, Volume 12, Issue 1, pp 21-32.
- Tekin A., Cizmeci M., Karabacak H., Kayahan M., 2002. Trans FA and solid fat contents of margarines marketed in Turkey. *JAOCS*, Vol 79, pp 443-445.
- Touitou Y., 2006. *Biochimie. Structure des glucides et lipides*.
- Tsanev R., Russeva A., Rizov T., Dontcheva I., 1998. Content of trans-fatty acids in edibles margarines. *JAOCS* 75, pp 143-145.
- Van Erp-baart M-A., Couet C., Cuadrado C., Kafatos A., Stanley J., van Poppel G., 1998. *Trans Fatty Acids in Bakery Products from 14 European Countries : the TRANSFAIR Study. Journal of food composition and analysis* 11, pp 161–169.
- Vitrac O., Trystram G., Raoult-Wack A-L., 2003. In *Procédé de fritures et produits frits. In Lipides et corps gras alimentaires. Jean Graille. Collection sciences et techniques agroalimentaires. Edition Tec & Doc*, pp 231-268.
- Wagner K-H., Auer E., Elmadfa I., 2000. Content of trans fatty acids in margarines, plant oils, fried products and chocolate spreads in Austria. *Eur Food Res Technol* 2010, pp 237-241.

- Wagner K-H., Plasser E., Proell C., Kanzler S., 2008. Comprehensive studies on the trans fatty acid content of Austrian foods. Convenience products, fast food and fats. *Analytical Methods. Food Chemistry* 108, pp 1054–1060.
- Walrand S., Fisch F., Bourre J-M., 2010. Tous les acides gras saturés ont-ils le même effet métabolique ? *Nutrition clinique et métabolisme*, 24, pp 63–75.
- Wang, L., Folsom, A. R., Zheng, Z. J., Pankow, J. S. & Eckfeldt, J. H., 2003. Plasma fatty acid composition and incidence of diabetes in middle-aged adults: the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. *Am J Clin Nutr*, 78, 91-8.
- Wang, Y. F., Chen, N. S., Chung, Y. P., Chang, L. H., Chiou, Y. H. & Chen, C. Y., 2006. Sodium butyrate induces apoptosis and cell cycle arrest in primary effusion lymphoma cells independently of oxidative stress and p21(CIP1/WAF1) induction. *Mol Cell Biochem*, 285, pp 51-59.
- Weil J.-H., 1994. Structure et métabolisme des lipides. *Biochimie générale*. 7^{ème} édition. Masson. pp 225-281.
- Werner J. Bauer, Raphaël Badoud, Jürg Löliger, Alain Etournaud, 2010. Sciences et technologie des aliments. Principes de chimie des constituants et de technologie des procédés. Première édition. Presses polytechniques et universitaires romandes. Pp 105-216.
- Wijesundera C., Richards A., Ceccato C., 2007. Industrially Produced trans Fat in Foods in Australia. *J Amer Oil Chem Soc* 84, pp 433–442.
- Willet W.C., 2011. The Great Fat Debate: Total Fat and Health. *Journal of the American Dietetic Association*, pp 660-662.
- Willet W.C., Leibel R.L., 2002. Dietary Fat Is Not a Major Determinant of Body Fat. *Am J Med*, 113(9B), 47S–59S.
- Wolff R.L., 1993. Further studies on artificial geometrical isomers of alpha-linolenic acid in edible linolenic acid-containing oils. In *Risques et bénéfices pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments – Recommandations*. AFSSA. pp 15-46.
- Youyou A., Durand G., Pascal G., Piciotti M., Dumont O., Bourre J.-M., 1986. Recovery of altered fatty acid composition induced by a diet devoid of n-3 fatty acids in myelin, synaptosomes, mitochondria of developing rat brain. In *Biologie des lipids chez l’homme. De la physiologie à la pathologie*. Douste-Blazy L., Mendy f. CNRS-CNERNA.
- Yurawecz M.P., Delmonte P., Vogel T., Kramer J.K.G. (2003). Oxidation of conjugated linoleic acid: initiators and simultaneous reactions: theory and practice. In *Risques et bénéfices pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments – Recommandations*. AFSSA. pp 15-46.



MB1



MB2



MP1



MP2



MF1



MF2



SM1



SM2

Figure 28 : Echantillons de graisses utilisées dans cette étude



BE1 BE2



BF2



BF1



CK2



CK1



GF1



GF2



CH2



CH1



GE2



GE1

Figure 29 : Echantillons des biscuits, cookies, gaufrettes, génoises et chips utilisés dans cette étude



Figure 30 : 12 échantillons d'huiles récupérées après chaque friture et un échantillon avant le début de l'opération

Résumé

L'objectif principal de cette étude est d'analyser une sélection de produits alimentaires industriels présents sur le marché algérien relativement à leur teneur en acides gras, avec une attention particulière aux acides gras saturés et *trans*. Le choix des produits alimentaires s'est porté sur les margarines et les graisses de cuisson, certains produits de la biscuiterie tels que biscuits enrobés ou fourrés au chocolat, cookies, gaufrettes, génoises industrielles, chips de pomme de terre et l'huile de tournesol raffinée et de fritures. Cette étude a montré que pratiquement tous les produits analysés sont très riches en AGS, essentiellement acides laurique, myristique et palmitique. Les études épidémiologiques ont montré qu'une consommation excessive d'AGS favorise le risque de maladies cardiovasculaires (MCV). Les AGS, en particulier les acides C12:0, C14:0 et C16:0, augmentent la concentration plasmatique de cholestérol, dont le LDL-cholestérol considéré comme facteur majeur du risque. Ce constat, confirme l'utilisation de grandes proportions d'huiles hautement saturés tels que l'huile de palme, coprah, palmiste.

Mots clés : Acides gras, acides gras saturés, acides gras trans, biscuit, margarine, huile de friture.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحليل مجموعة من المنتجات الغذائية المصنعة الموجودة في السوق الجزائرية اعتبارا لمحتواها من الأحماض الدهنية ، مع إيلاء اهتمام خاص للدهون المشبعة والدهون غير المشبعة *trans*. المواد الغذائية التي تم اختيارها تتمثل في مرغرين والدهون المستعملة في الطبخ، والبسكويت المغلفة أو المحتوية على الشوكولاته ، **البسكويت الرقيق** ، الكعك، رقائق البطاطس و زيت عباد الشمس بعد القلي. أظهرت هذه الدراسة أن جميع المنتجات التي تم تحليلها تحتوي على كميات معتبرة من الأحماض الدهنية المشبعة ، خاصة أحماض اللوريك ، الميرستيك والنخيلي. وقد أظهرت الدراسات الوبائية أن الاستهلاك المفرط للأحماض الدهنية يعزز من خطر الإصابة بأمراض القلب، خصوصا الأحماض C12:0، C14:0 و C16:0، وزيادة تركيز الكولسترول في البلازما، بما في ذلك LDL-الكولسترول الذي يعتبر عامل خطر رئيسي. هذه النتيجة تؤكد على استخدام نسبة كبيرة من الزيوت المشبعة مثل زيت النخيل وجوز الهند، نواة النخيل.

الكلمات الرئيسية : الأحماض الدهنية، الأحماض الدهنية المشبعة و الأحماض الدهنية غير المشبعة، البسكويت، مرغرين، زيت القلي.

Abstract

The main objective of this study is to analyze a selection of manufactured food products present in the Algerian market with respect to their fatty acid content, with particular attention to saturated and *trans* fats. The choice of food was on margarines and cooking fats, certain products such as cookies, biscuits coated or filled with chocolate, cookies, wafers, sponge, potato chips and refined and frying sunflower oil. This study showed that all products analyzed are rich in SFA, mainly lauric, myristic and palmitic. Epidemiological studies have shown that excessive consumption of AGS promotes the risk of cardiovascular disease (CVD). The AGS, especially acids C12:0, C14:0 and C16:0, increase the plasma concentration of cholesterol, including LDL cholesterol considered a major risk factor. This finding confirms the use of large proportions of highly saturated oils such as palm oil, copra (coconut), palm kernel.

Keywords: fatty acids, saturated fats, trans fats, biscuits, margarine, frying oil.