

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master II

Filière : Biotechnologie, Agro-ressources, Aliment, Nutrition,

Spécialité : Corps Gras

Thème

*Acides gras trans : origines et impacts
nutritionnels*

Réalisé par :

M^r ATTIA Mouloud

Membre du jury :

**Président : Mme AIDLI A.
Promoteur : M^r TAMENDJARI A.
Examineur : Mme DEJLILI F.
Mme DEFLAOUI L.**

Année universitaire : 2012/2013



Remerciements

C'est avec une grande joie et une certaine émotion qu'on aujourd'hui ces quelques lignes de remerciements.

A DIEU LE TOUT PUISSANT, on te glorifie pour ton Amour, ta Générosité, ta Miséricorde sans faille, ton Soutien dans les moments de tribulations et de solitude.

On ne saurait commencer ces remerciements sans penser à Mr TAMENDJARI A. qui a largement contribué à l'ensemble de ces travaux. On admire particulièrement sa grande rigueur et sa grande implication dans ce travail. Elle nous a enseigné l'art du : « tiens on pourrait peut-être aussi faire ça en parallèle des autres manips...et puis ça...et ça ? ». On la remercie pour la confiance qu'elle nous a témoignée et pour sa participation plus active tout au long de ce mémoire.

On remercie Mme AIDLI A d'avoir accepter de présider le jury et aussi pour ses conseils et ses encouragements.

On remercie Mme DEJLILI F. et Mme DEFLAOUI L. d'avoir accepter d'examiner ce travail.

Au terme de ce travail, il nous est agréable de remercier toutes les personnes qui ont participé de prêt ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Toute notre gratitude va enfin à nos parents pour leur soutien tout au long de nos études. Merci pour vos encouragements et votre présence tout au long de notre cursus. Merci de croire en nous. Trouvez dans ce travail accompli, tous le respect et l'amour qu'on vous porte.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A la femme la plus courageuse, sensible, généreuse, la plus belle à mes yeux, à celle qui a su me donner amour et joie de vivre, à celle qui a toujours montré affection et compréhension à mon égard, **Ma Mère** j'aime.*

*A **Mon père** que dieu protège qui m'a toujours soutenu dans mes études, et qui a tout fait pour que je réussisse.*

*A mes frères : **Fatah, Fares, Abdelghani et Samir.***

*A mes sœurs : **Lynda et Nabila.***

*A mes meilleurs amis : **Amine, Sofiane, Yacine, massaoud, youcef, Saïd, Sonia, Ahlem, Imane, Hakima, Rabia.***

*A notre ancienne enseignante **Mouma** qu'on prouve du respect beaucoup.*

A tout mes cousins

A tous mes amis(es)

A toute la promotion corps gras 2013



MOULOUD

Liste des abréviations

AESA/EFSA : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments/ European Food Safety Authority.

AET : Apport Energétique Total

AFSSA : Agence Française de la sécurité Sanitaire des Aliments.

ALnC : Acide Linoléique Conjugué.

AG : Acide gras.

AGI : Acide Gras Insaturé.

AGMI : Acide Gras Mono-insaturé.

AGPI : Acide Gras Polyinsaturé.

AGS : Acide Gras Saturé

AGT : Acide Gras Trans.

AGTi : Acide Gras Trans Industriel

AGTn : Acide Gras Naturel.

CCM : Chromatographie sur Couche Mince.

CLA : Acide Linoléique Conjugué.

CPG: Chromatographie Phase Gazeuse

CSS: Conseil Supérieur de la Santé.

HDL-C: Height-Density-Lipoprotein (Cholesterol).

HVPH : Huiles Végétale Partiellement Hydrogénée.

LDL-C: Low-Density- Lipoprotein(Cholesterol).

MCV : Maladies Cardio-vasculaires.

MGLA : Matière Grasse Litière.

MGT : Matière Grasse Total

PNNS : Programme National Nutrition Santé.

UV : Ultra-violet.

Liste des figures

Figure 1: Configuration <i>cis</i> et <i>trans</i> sur une chaîne carbonée d'acides.....	3
Figure 2: Structure des acides gras saturés, insaturés <i>cis</i> et <i>trans</i>	3
Figure 3: Voies principales de la Biohydrogénation ruminale des AG en C18.....	5
Figure 4: Biohydrogénation ruménique, absorption et transformation tissulaire des acides linoléique et linoléique, et leurs dérivées.....	6
Figure 5 : Isomères d'acide linoléique et alpha-linolénique formés lors de chauffage.....	8
Figure 6: Position de la double liaison <i>trans</i> sur la chaîne carbonée selon les sources.....	9
Figure 7: Spectres Infrarouge d'une huile hydrogénée.....	12
Figure 8: Séparation sur CCM de gel de silice G imprégnée a 10 % de Nitrate d'argent d'EMAG.....	13
Figure 9 : Chromatogramme d'esters méthyliques d'AG de beurre (lait de vache), analyses sur colonne CP Sil 88.	14
Figure 10 : Variations régionales des taux d'acide ruménique dans le beurre.....	17
Figure 11 : Distribution des isomères 18:1- <i>trans</i> dans des huiles partiellement hydrogénées.....	20
Figure 12 : CLA et composition corporelle chez l'homme.....	25
Figure 13: Effets de la consommation d'AGT sur le cholestérol LDL et le cholestérol HDL en fonction de l'apport énergétique total (AET).....	28
Figure 14 : Principales sources d'AGT en Amérique du Nord en 2003	29

Liste des tableaux

Tableau I :	Nomenclature des acides gras saturés	annexe
Tableau II :	Nomenclature des acides gras insaturés	annexe
Tableau III :	Composition en acides gras de quelques huiles végétales	annexe
Tableau IV :	Composition en acides gras de graisses animales	annexe
Tableau V :	Température de fusion pour différents acides gras à 18 atomes de carbone	9
Tableau VI :	Propriété physico-chimiques de quelques AGT.....	10
Tableau VII :	Variation des teneurs en AGT du beurre en fonction des saisons, exprimées en g/100g et en % de la matière grasse laitière (MGLA)....	15
Tableau VIII :	Teneurs en CLA de produits laitiers et viandes d'animaux ruminants.	16
Tableau IX :	Teneurs en AGT totaux de 2 catégories de margarines, exprimées en % des acides gras totaux et en g/100g de produit.....	18
Tableau X :	Exemple d'évaluation de la teneur(%) en AGT totaux de margarine...	18
Tableau XI	Teneur en acides gras trans des margarines des différents pays	19
Tableau XII :	Teneurs en AGT dans des huiles raffinées.....	20
Tableau X III :	Teneurs en AGT de quelques shoretnings utilisées comme phase grasse de quelques produits alimentaires-Exemple de formulation possibles.....	21
Tableau XIV :	Consommation estimée de CLA dans différents pays.....	31
Tableau XV :	Pays ayant réglementé l'utilisation des Acides Gras Trans et leur étiquetage	35

Sommaire

Liste des abréviations.

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Introduction..... 01

Chapitre I. Généralités sur les acides gras

I-Définitions	02
I.1. Acides gras (AG).....	02
I.2. Acides gras saturés (AGS)	02
I.3. Acides gras insaturés (AGI).....	02
I.3.1. Acides gras mono insaturés (AGMI)	02
I.3.2. Acides gras polyinsaturés (AGPI)	02
I.4. Acides gras trans (AGT)	02
II. Origines des AGT	04
II.1. les AGT naturels	04
II.1.1. la bio-hydrogénation des AGPI.....	04
II.2. Les AGT industriels.....	06
II.2.1. Hydrogénation catalytique partielle des huiles végétales (HPHV).....	06
II.2.2. Traitements thermiques.....	07
III. Propriétés physico-chimiques des AGT.....	09
III.1. Solubilité.....	09
III.2. Point de fusion	09
III.3. Point d'ébullition.....	10

Chapitre II : Dosage et présence dans les aliments des AGT

I. Méthodes d'analyse.....	11
I.1. Spectrométrie infrarouge.....	11
I.2. Chromatographie sur couche mince (CCM).....	12
I.3. Chromatographie en phase Gazeuse « directe ».....	13
II. Présence des AGT dans les aliments.....	15
II.1. Teneurs des AGT naturels dans les aliments.....	15
II.2. Teneurs des AGT industriels dans les aliments.....	17

Sommaire

II.2.1. Teneurs d'AGT dans les margarines.....	17
II.2.2. Teneurs d'AGT dans les huiles végétales et HVPH.....	19
II.2.3. Teneurs d'AGT dans les shortenings.....	21
III. Métabolisme des AGT.....	22
III.1. Incorporation des AG <i>trans</i> et des CLA dans les tissus.....	22
III.1.1. Les AG <i>trans</i> mono insaturés.....	22
III.1.2. Les AG <i>trans</i> polyinsaturés.....	22
III.1.3. Les CLA.....	22
III-2- La bioconversion des AGT.....	23
III.3. Les métabolismes oxydatifs des AGT.....	23
III.3.1. Les AG <i>trans</i> mono insaturés.....	23
III.3.2 . Les AG <i>trans</i> polyinsaturés.....	23
III.3.3. Les CLA.....	23

Chapitre III : Effets de la consommation d'AGT sur la santé

I. Effets de la consommation des AGT sur la santé.....	24
I.1. Effets des AGT naturels sur la santé.....	24
I.2. Effets des AGT industriels sur la santé.....	27
II. Consommation mondiale des AGT.....	28
II.1. Consommation des AGT industriels.....	28
II.2. Consommation mondiale d'AGT naturels	31
III. Recommandations et législations.....	32
III.1. Recommandations de l'AFSSA.....	32
III.1.1. Les AG <i>trans</i> totaux.....	32
III.1.2. Les isomères de CLA.....	33
III.2. Recommandations du CSS.....	33
III-Traçabilité des acides gras <i>trans</i>	34
Conclusion.....	36

Références bibliographiques.

Annexes

INTRODUCTION

Les lipides possèdent de nombreuses propriétés fonctionnelles : réserve énergétique, transport de molécules liposolubles (vitamines, colorants), molécules structurales (élaboration des membranes cellulaires), régulateurs métaboliques (hormones stéroïdes), émulsifiants et texture.

Les lipides alimentaires, produits naturels largement répandus dans le règne animal et végétal sont principalement composés de différents acides gras, qui sont regroupés en grandes familles (saturés, mono et polyinsaturés,...). Dans la nature, la majorité des acides gras insaturés sont de configuration *cis* qui génère une courbure dans la structure spatiale de la molécule. C'est notamment le cas de l'acide oléique, un acide gras monoinsaturé [18:1 n-9] ou des acides gras polyinsaturés indispensables (acide linoléique [18:2 n-6], acide α -linoléique [18:3 n-3]). Dans l'alimentation cependant, on trouve des acides gras de configuration *trans* (**Attia-Skhiri et al.2009**)

Les **acides gras trans (AGT) : également appelés en anglais "Trans Fatty Acids" (TFA)**, ont une configuration spatiale différente de celle des autres acides gras usuels. Cette disposition spécifique fait que les acides gras trans ont des propriétés biochimiques et biophysiques très particulières. Les acides gras trans peuvent avoir plusieurs origines. Certains AGT sont dits naturels. Ils sont produits naturellement dans l'estomac des ruminants (vache, mouton, chèvre), par l'activité de certains microorganismes résidant dans le rumen de ces animaux. D'autres AGT sont d'origine industrielle. Ils sont produits par l'hydrogénation artificielle des huiles végétales en gras solide ou semi-solide (shortening). Les AGT peuvent également se résulter du traitement thermique d'huiles (chauffage et cuisson des huiles végétales à haute température) (**Chardigny et Malpuech-Brugere, 2007**)

La consommation des différents matières grasses alimentaires constitutifs d'AGT en terme de leurs sources (naturelle ou technologique) et leurs proportion dans la ration journalière consommée représentent depuis 50 ans un sujet d'intérêt majeur en nutrition humaine, en raison de leur implication dans le développement (ou la prévention) de maladies chroniques, notamment les maladies cardio-vasculaires, le diabète de type 2, et certains cancers.

Cette synthèse bibliographique présentera les origines et impacts nutritionnel des acides gras trans et conjugués et des principales conséquences nutritionnelles de leur consommation.

I-Définitions

I.1. Acides gras (AG)

Etant des constituants universels de tous les composés lipidiques (**Percheron et al., 1981**), ce sont des molécules qui se composent habituellement d'une chaîne carbonée linéaire, de longueur très variable, portant un groupe carboxylique à une extrémité et un groupe méthyle à l'autre (**Adrian et al., 2003**). La nomenclature des acides gras saturés et insaturés est donnée en annexe (Tableaux I et II).

I.2. Acides gras saturés (AGS)

Les acides gras saturés contiennent exclusivement des liaisons simples entre les atomes de carbones (**Norris, 2005**). Ils sont solides à température ambiante (**Percheron et al., 1981**). Ce sont des molécules d'intérêt biologique, c'est leur excès qui pose problème (**Legard, 2009**), ils ne devraient pas représenter plus du quart des acides gras de l'alimentation car ils peuvent augmenter le cholestérol total et donc le risque cardiovasculaire (**Lecerf, 2009**).

I.3. Acides gras insaturés (AGI)

Les acides gras insaturés se présentent sous deux formes :

I.3.1. Acides gras mono insaturés (AGMI)

Un acide gras mono insaturé contient une seule double liaison ($C=C$), de géométrie cis ou trans, cette double liaison peut se situer en différents points de la chaîne carbonée.

I.3.2. Acides gras polyinsaturés (AGPI)

Les acides gras polyinsaturés possèdent plusieurs doubles liaisons qui peuvent être chacune de géométrie soit cis, soit trans, soit combinés cis/trans. Il arrive cependant de rencontrer des doubles liaisons « non-méthylène interrompues » (NMI), soit « isolées », c'est-à-dire séparées par plusieurs carbones, soit « conjuguées » c'est-à-dire séparées par une seule simple liaison, sans carbone intermédiaire (**Naudet, 1992**). La composition en acides gras des huiles et graisses d'origine animale et végétale est donnée en annexe (tableaux III et IV).

I.4. Acides gras trans (AGT)

Si le codex Alimentaires au niveau mondiale, les Etats Unis, le Canada, ont retenu une définition des **AGT** excluant les « acides linoléiques conjugués » (**CLA**) et dans le cas du Danemark excluant également les **AGT** d'origine naturelle, l'autorité européenne

(AES/EFSA) et l'AFSSA en France définissent les AGT comme tout acide gras insaturé (mono-insaturé ou polyinsaturé) ayant au moins une double liaison en configuration trans (Morin, 2005), c'est-à-dire ayant deux atomes d'hydrogène situés de part et d'autre de la chaîne carbonée (figure 1), cela a des répercussions sur la configuration spatiale et donc sur les propriétés et les fonctions biologiques de la molécule d'acide gras (Schmid, 2007).

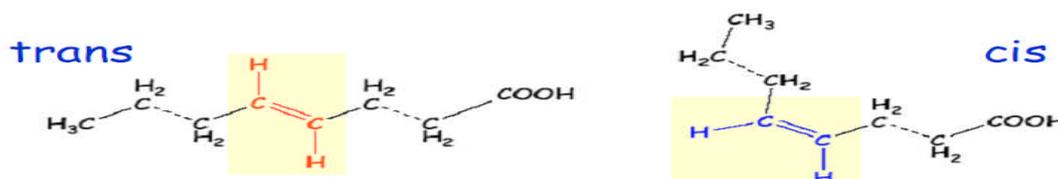


Figure 01: Configuration *cis* et *trans* sur une chaîne carbonée d'acides gras (Chardigny et Malpuech-Brugere, 2007).

La figure 2 nous montre l'homologie structurale entre les acides gras saturés et les acides gras trans.

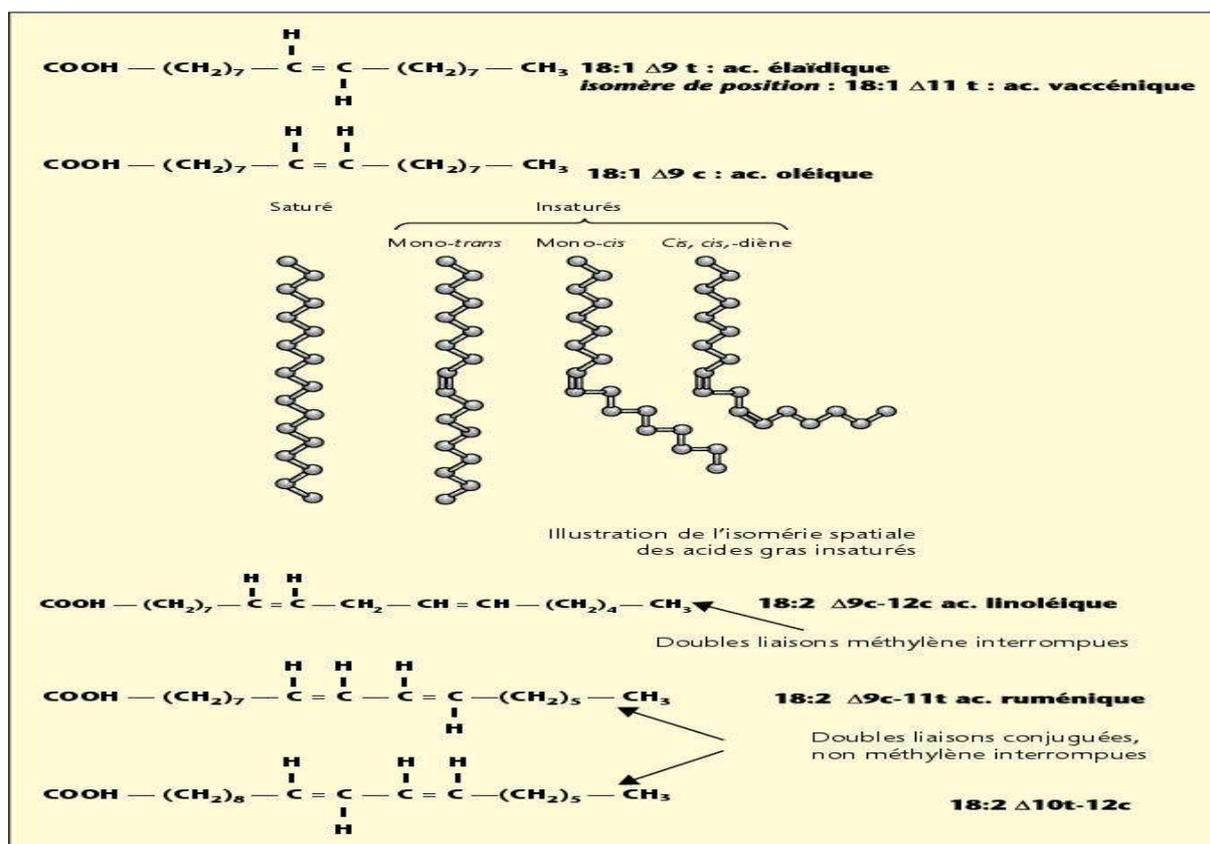


Figure 2 : Structure des acides gras saturés, insaturés cis et trans (Morin, 2005).

II. Origines des AGT

Les acides gras trans (AGT) alimentaires ont principalement deux origines. La première est une origine naturelle. Dans ce cas, les AGT résultent de la bio-hydrogénation ruminale des acides gras polyinsaturés ingérés par les (vache, chèvre, brebis.....) et se retrouvent principalement dans les aliments tels que le lait et les produits dérivés (beurre, fromages,...). La seconde origine est technologique. L'industrie des corps gras réalise des hydrogénations catalytiques partielles, dont les objectifs sont de transformer les propriétés physicochimiques des huiles (végétales notamment). Au cours de ce procédé sont générés les AGT, qui sont incorporés dans différentes préparations sous forme de « shortenings ». Ces shortenings sont utilisés dans les industries agro-alimentaires dans des applications telles que la biscuiterie, les viennoiseries, la fabrication des barres chocolatées (**Chardigny et Malpuech-Brugere, 2007**).

II.1. Les AGT naturels

II.1.1. La bio-hydrogénation des AGPI

La bio-hydrogénation ruminale conduit à la transformation des acides gras polyinsaturés (AGPI) de la ration alimentaire des ruminants (vache, chèvre, brebis...) en acides gras saturés (AGS) par différentes voies. Les voies présentées à la figure (3) sont parmi les plus étudiées (**Griinari et Bauman, 1999 ; Chilliard et al., 2003**). Cette bio-hydrogénation résulte de l'action d'enzyme de la flore du rumen, notamment de *Butyvirbio fibrisolvens*.

La saturation totale de l'acide gras insaturé entraînera la formation d'acide stéarique (C18 :0). L'hydrogénation peut être partielle en résultera alors la formation de plusieurs isomères de C18 :1 trans (acide vaccénique).

Les acides linoléiques conjugués (ALC) sont constitués d'une chaîne de 18 carbones sur laquelle deux doubles liaisons sont présents sur les atomes de carbone adjacents. Ces acides gras proviennent de la bio-hydrogénation de l'acide linoléique dans le rumen des ruminants (**Parodi, 2004 ; Lock Alec, 2005**), les ALC ont donc une origine naturelle. Il existe plusieurs isomères d'ALC mais celui qui domine dans le gras est l'ALC (C18 :2 9c, 11t) sous le nom d'acide ruménique.

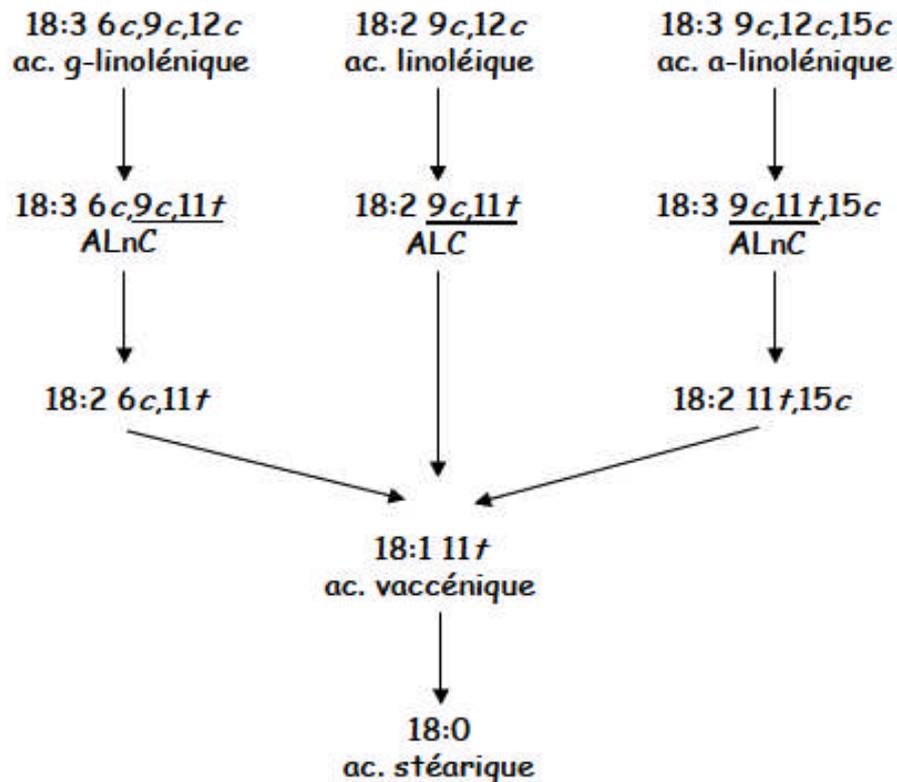


Figure 3: Voies principales de la Biohydrogénation ruminale des AG en C18 (Griinari et Bauman, 1999).

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 le tissu mammaire. Tous ces AG seront excrétés et retrouvés dans le lait.

Au niveau mammaire, d'autres réactions enzymatiques produisent de nouveaux AGT ou modifient ceux précédemment formés dans le rumen, notamment sous l'action de la $\Delta 9$ -désaturase (Figure 4).

Il a été démontré que la $\Delta 9$ -désaturase de liposome de foie de rats est capable de désaturer *in vitro* pratiquement tous les 18:1-trans (sauf les 8t, 9t, et 10t), donnant des isomères de l'acide linoléique soit conjugués comme les 18:2 CLA 9c,11t et 7t,9c, soit isolés méthylène-interrompus comme le 9c,12t ou non méthylène-interrompus comme le 9c,13t (Pollard *et al.*, 1980). La transformation de l'acide vaccénique 18:1 11t en acide ruménique 18:2 9c,11t par une $\Delta 9$ -désaturase a été mise en évidence *in vivo* dans le tissu mammaire (Griinari *et al.*, 2000).

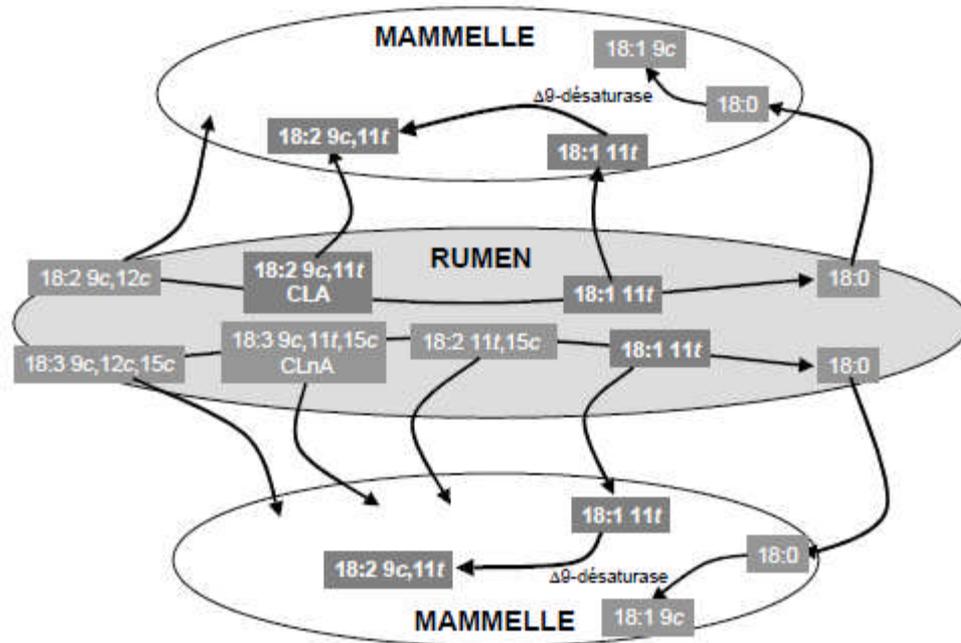


Figure 4: Biohydrogénation ruménique, absorption et transformation tissulaire des acides linoléique et linoléique, et de leurs dérivés (Grinari et Bauman, 1999 ; Grinari et al., 2000).

II.2. Les AGT industriels

II.2.1. Hydrogénation catalytique partielle des huiles végétales (HPHV)

Ce procédé industriel permet de réduire l'insaturation des acides gras pour rendre les huiles plus concrètes et moins sensible à l'oxydation (Perkins et Smick, 1987). Pendant ce traitement, des acides gras trans sont formés lors d'isomérisation inhérentes aux procédés industriels puisque les graines oléagineuses et les huiles vierges contiennent peu d'AGT à l'origine (Brühl, 1995).

Les taux d'AGT et la distribution des différents isomères dépendant de plusieurs paramètres tels que (Ackman et Mag, 1998) :

- La nature et la composition des AG insaturés ;
- La nature du catalyseur ;
- Les conditions d'hydrogénation (température, pression, agitation) ;
- Le degré de dureté atteint ;

L'utilisation des procédés industriels « modérés » telle la transtérification pour la fabrication de la margarine ménagère a largement contribué à abaisser les taux d'AGT dans ces produits (**Ackman et Mag, 1998 ; Precht et Molkentin, 2000**).

Dans les matières grasses partiellement hydrogénées, ce sont les isomères trans 9 (acide élaidique) et trans 10 qui sont majoritaires (**Chardigny et Malpuech-Brugere, 2007**).

II.2.2. Traitements thermiques

Les traitements thermiques des huiles et graisses (Désodorisation au cours du raffinage, cuisson, friture, grillades, etc.) génèrent aussi des AGT. Contrairement à l'hydrogénation catalytique partielle, le chauffage induit peu d'isomères 18 :1-trans, mais surtout des acides di- et tri-énoïques. Les traitements thermiques produisent surtout des isomères géométriques, peu d'isomères positionnels, c'est-à-dire les doubles liaisons migrent peu ou pas, mais s'isomérisent de cis en trans (**Wolf et Sébédio, 1991 ; Wolf, 1993**).

Les isomères d'acide linoléique (18 :2 9c, 12c) et alpha-linolénique (18 :3 9c, 12c, 15c) formés lors de chauffage sont illustrés en figure 5. Les isomères formés et le taux d'AGT produits dépendent surtout de la température atteinte, mais également du temps d'application du traitement (**Devinat et al., 1980 ; Grandirard, 1992 ; Wolff, 1995**).

L'isomère di-trans 18 :2 9t, 12t n'est retrouvé que dans des cas de températures très élevées ou dans les huiles de friture très utilisées. La figure suivante montre la formation des isomères de l'acide linoléique et α -linolénique lors de chauffage (**Precht et Molkentin, 1997 ; Sébédio et Chardigny, 1998**).

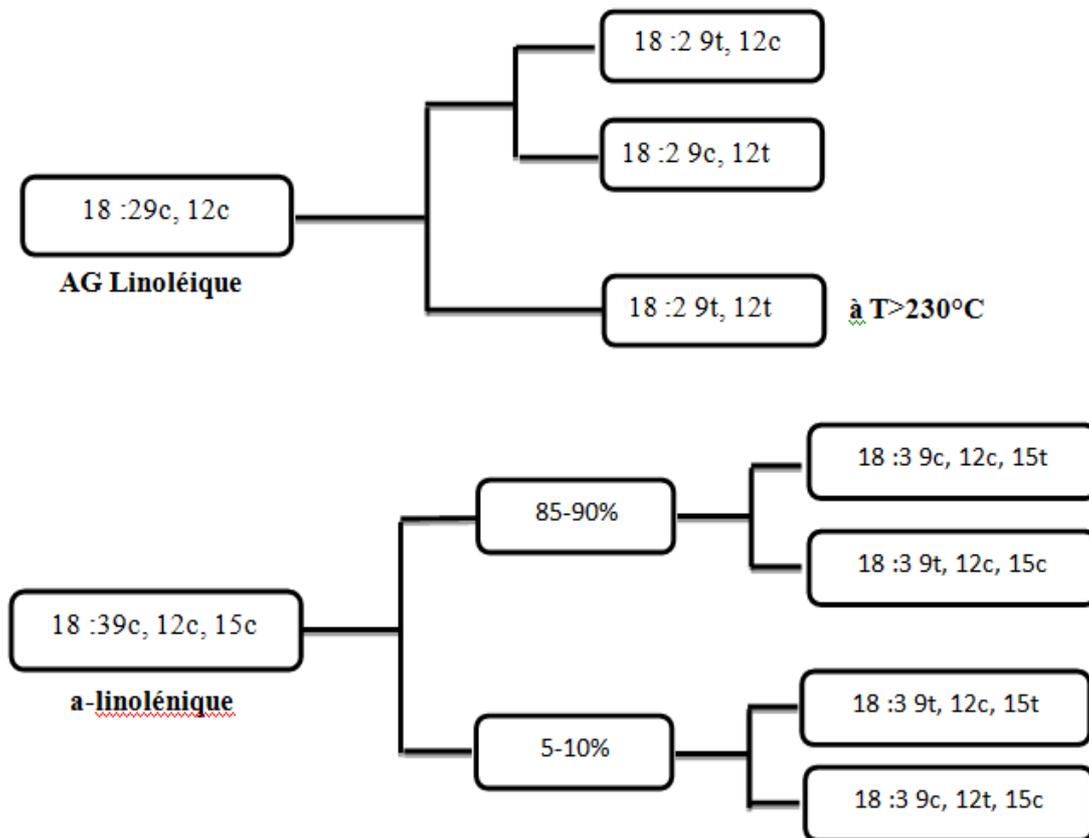


Figure 5 : Isomères d'acide linoléique et alpha-linolénique formés lors de chauffage ((Precht et Molkentin, 1997b, Sebedio et Chardigny, 1998, Wolff, 1993c).).

Les AGT sont très majoritairement des acides gras à 18 carbones et une double liaison, donc mono-insaturé mais la position de la double liaison varie selon l'origine (Figure 6). Ainsi, les AGT d'origine naturelle sont principalement composé d'isomère trans 11 (ou acide vaccénique). Dans les matières grasses végétales partiellement hydrogénées, se sont des isomères trans 9 (acide élaïdique) et trans 10 qui sont majoritaires (Chardigny et Malpuech-Brugere, 2007).

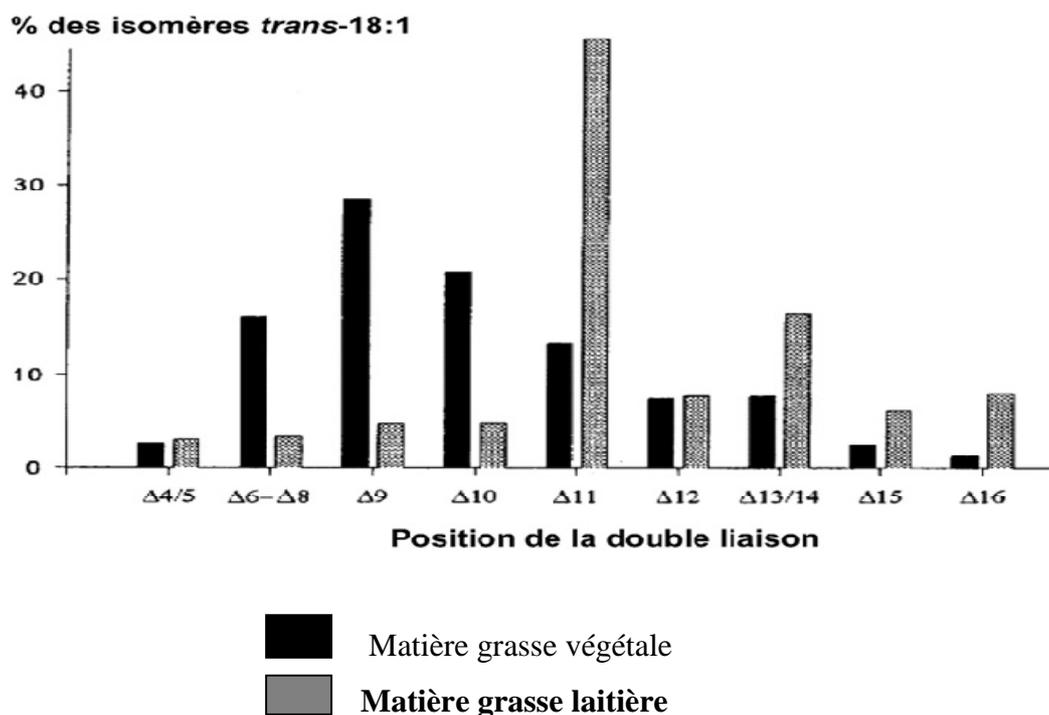


Figure 6 : Position de la double liaison *trans* sur la chaîne carbonée selon les sources ((Chardigny et Malpuech-Brugere, 2007).

III. Propriétés physico-chimiques des AGT

III.1. Solubilité

Les AGT sont moins solubles que leurs isomères *cis* et la solubilité croît à la mesure que le site d'insaturation s'éloigne du groupe carboxyle (Perron, 1992)

III.2. Point de fusion

Les isomères *trans* ont toujours un point de fusion plus élevé que les isomères *cis*, même lorsque la double liaison est proche des extrémités de la chaîne (Ucciani et Debal, 1992).

Tableau V : Température de fusion pour différents acides gras à 18 atomes de carbone (Ollivon et Perron, 1992).

Acides gras	Température de fusion(C°)	Acides gras	Température de fusion (C°)
Stéarique	71	Linoléique	-11
Oléique	13	Elaidique	44
Linoléique	-5	Linélaïdique [18 :2(9t,12t)]	30

III.3. Point d'ébullition

Le point d'ébullition des acides gras dépend uniquement de la chaîne carbonée, plus cette dernière est longue plus le point d'ébullition augmente (**Christian, 2000**).

Tableau VI : Propriétés physico-chimiques de quelques AGT (**willett et al.,1993**).

AGT	Nom chimique	Propriétés Physico-chimiques		
		T° de fusion	T° d'ébullition	Solubilité
AC. élaidique	C 18 : 1 9t	43 à 45° C	288° C	Solvants organiques
AC. Vaccénique	C18 :1 11t	44° C	284 (100mmHg)	Solvants organiques

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 (absorption UV, infrarouge, etc.) des AG, point intéressant pour leur identification.

I. Méthodes d'analyse

Les principales méthodes analytiques utilisées font appel aux techniques chromatographiques et spectrométriques.

I.1. Spectrométrie infrarouge

L'infrarouge est une méthode analytique rassemblant plusieurs procédés d'identification et de dosage non destructif basé sur l'étude de l'absorption, par l'échantillon, des radiations électromagnétiques comprises entre 1 et 1000 μm (**Borel et Randoux, 1987**).

L'IR est une méthode d'analyse structurale qui apporte des informations sur les fonctions chimiques présentes dans les molécules et permet de différencier les isomères.

L'effectuation de cette mesure à partir de corps gras, nécessite préférablement une transformation de ce dernier en ester et d'éviter de travailler sur des acides gras libres.

La manipulation consiste en un prélèvement de quelques microlitres des tubes préalablement préparés pour la méthylation des acides gras. Sécher et reprendre dans de sulfure de carbone, puis mettre en évidence la double liaison Trans par spectrophotométrie (fréquence d'absorption = 970cm^{-1}). Le spectromètre est calibré par une solution d'élaidate de méthyle.

Les liaisons *trans*-éthyléniques isolées (méthylène interrompues ou non) absorbent dans l'infrarouge entre 976 et 956 cm^{-1} avec un maximum d'absorption à 966 cm^{-1} (10,3 μm) (figure 7). Cette absorption correspond à la déformation hors du plan de la liaison C-H (**Firestone et Sheppard, 1992 ; Mossoba et al., 2003**). La spectrométrie en IR a donc été utilisée très tôt pour le dosage des taux de liaisons *trans* isolées dans les huiles hydrogénées.

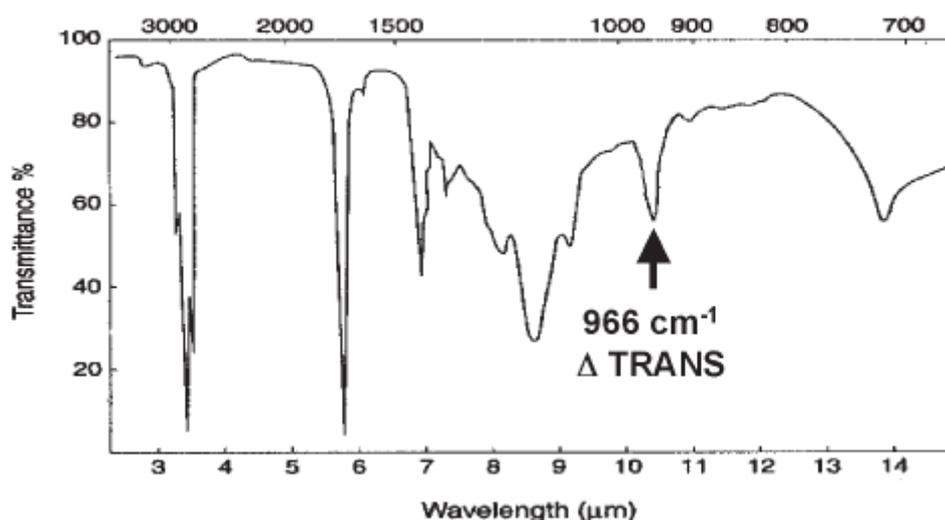


Figure 7 : Spectres Infra-Rouge d'une huile hydrogénée (Afssa ;2005).

I.2. Chromatographie sur couche mince (CCM) :

Le principe de la CCM est le transfert d'une substance d'une phase vers une autre; phase stationnaire (fixe) et mobile. La couche mince sur la silice ne permet pas de séparer les isomères Trans et cis des esters des acides gras.

Par contre la modification par le nitrate d'argent (10 à 20 %) présente un grand intérêt car il devient possible à partir des mélanges des esters méthyliques d'AG, de séparer les constituants selon le nombre, la position et la conformation cis et Trans des liaisons.

Le support est étalé en une couche mince sur une plaque (en verre, plastique, ou en aluminium). Le support est un sel, un oxyde ou hydroxyde. La phase utilisée est le chloroforme-éther éthylique additionné à 1% d'acide acétique. Les doubles liaisons cis sont plus absorbées que leur isomères Trans.

La figure suivante illustre la séparation sur CCM des acides gras.

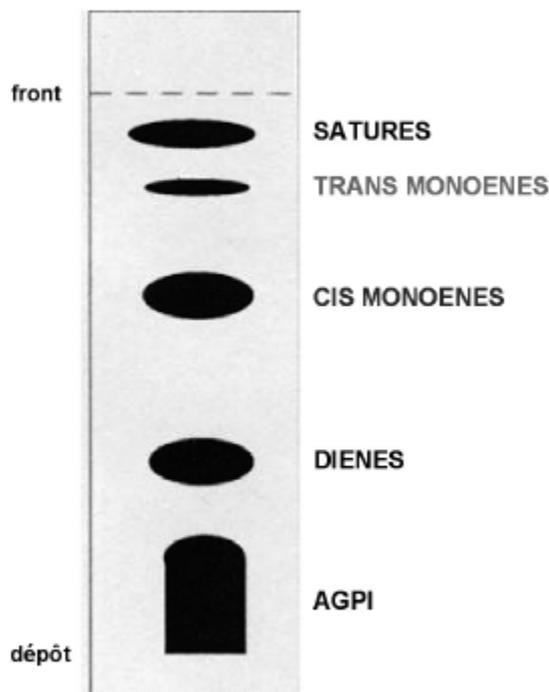


Figure 8 : Séparation sur CCM de gel de silice G imprégnée à 10 % de Nitrate d'argent d'EMAG. (Christie, 1989).

I.3. Chromatographie en phase Gazeuse « directe »

La Chromatographie en phase gazeuse (CPG) équipée d'un détecteur à ionisation de flamme (DIF) est la méthode d'analyse la plus couramment utilisée pour le dosage des AG en général, et des AG *trans* et des CLA en particulier.

Il convient cependant de souligner qu'une séparation complète de chaque isomère *trans* ou conjugué exige le plus souvent le couplage de la CPG avec un autre système chromatographique au préalable.

En effet, en injectant directement en CPG-DIF un extrait estérifié d'un corps gras dont la composition en AG est simple, on peut, dans la plupart des cas, doser facilement les AG principaux de cette matière grasse avec justesse. Ceci devient beaucoup plus difficile avec une matrice complexe comme la matière grasse laitière par exemple, et encore plus compliqué si on veut doser de manière précise les isomères *trans* que ce soit dans les produits laitiers ou dans les huiles hydrogénées. Pour illustrer ceci, la figure (9) montre à titre d'exemple un chromatogramme d'une matière grasse laitière obtenue sur une colonne capillaire de haute polarité et de grande longueur (100 m).

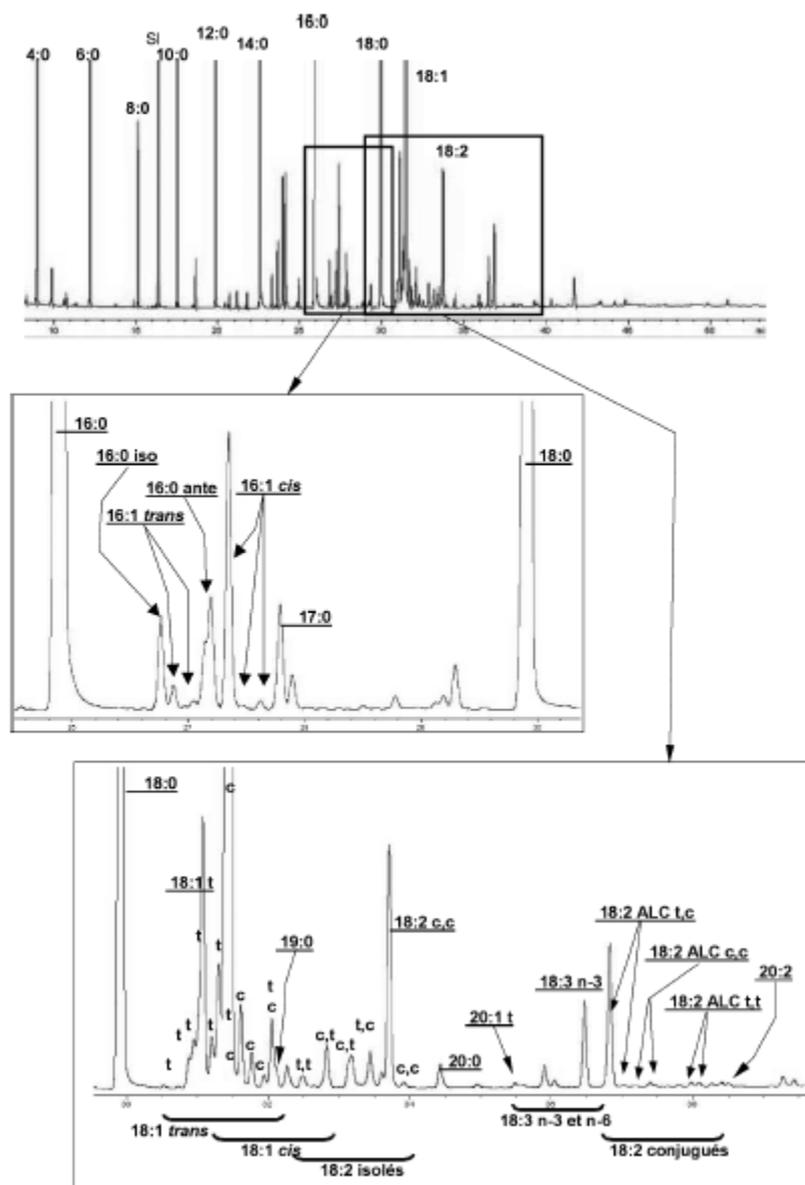


Figure 9 : Chromatogramme d'esters méthyliques d'AG de beurre (lait de vache), analyses sur CP Sil 88. (Afssa ;2005).

II. Présence des AGT dans les aliments

II.1. Teneurs des AGT naturel dans les aliments

La bio-hydrogénation ruminale des AGPI par les ruminants forme cette catégorie d'AGT, qui se retrouvent principalement dans les produits contenant des matières grasses d'animaux ruminants tels que : le lait et les produits laitiers (beurre, fromages,...), le suif et les viandes des ruminants. Les teneurs en AGT varient selon le mode d'alimentation des animaux et selon les saisons et les régions. (Le tableau VII) représente les variations des teneurs en AGT du beurre en fonction des saisons. La matière grasse laitière apporte surtout des isomères trans monoinsaturés en C18 :1 principalement l'acide vaccénique. Elle apporte aussi de l'acide ruménique C18 :2, 9c, 11 t. Les viandes contiennent surtout des isomères de l'acide vaccénique. Le suif peut en contenir entre 2 et 4,6 %.

Tableau VII : variation des teneurs en AGT du beurre en fonction des saisons, exprimées en g/100g et en % de la matière grasse laitière (MGLA)-Source (**Ledoux et al., 2003**).

Pour 100g de beurre	Hiver	Printemps	Eté
18 : 1 trans	1,72	2,11	2,5
18 : 2 trans (9t, 12t+ 9c, 12t+9t, 12c)	0,37	0,45	0,52
AGT totaux hors CLA	2,1	2,6	3,0
En % de la MGL			
Teneur moyenne MGL du beurre.	84,9	84,7	82,7
AGT totaux hors CLA	2,5	3,0	3,7

Le tableau VIII représente les teneurs en CLA des produits laitiers et viandes d'animaux ruminants.

Tableau VIII : Teneurs en CLA de produits laitiers et viandes d'animaux ruminants

%des acides gras totaux		références
<u>Lait et produits laitiers</u>		
Laits (cru, pasteurisé, concentré)	0,5-1,1	Lin et <i>al.</i> , 1995 Fritsch et <i>al.</i> , 1998
Beurre	0,5-0,8	Ledoux et <i>al.</i> ,2003
Yaourt	0,4-0,7	Lin et <i>al.</i> ,1995 Fritsch et <i>al.</i> ;1998
Comté	0,9-2,1	Fritsch et <i>al.</i> ,1998 Lavillonnière et <i>al.</i> ,1998
Emmental	1,2-1,7	Fritsch et <i>al.</i> ,1998
<u>Viandes de ruminants</u>		
Bœuf	0,4-0,7	Fritsch et <i>al.</i> ,2000 Shantha et <i>al.</i> ,1992
Agneau	0,6-1,2	Fritsch et <i>al.</i> ,1998 Chin et <i>al.</i> ,1992

La teneur moyenne annuelle en acide ruménique mesurée au cours d'une recherche (**Ledoux, 2005**) toutes régions confondues est de 0,55g AR/100g de beurre, avec des différences régionales significatives allant de 0,39 à 0,66g AR/100g de beurre. Ces résultats sont illustrés par la (figure 8).

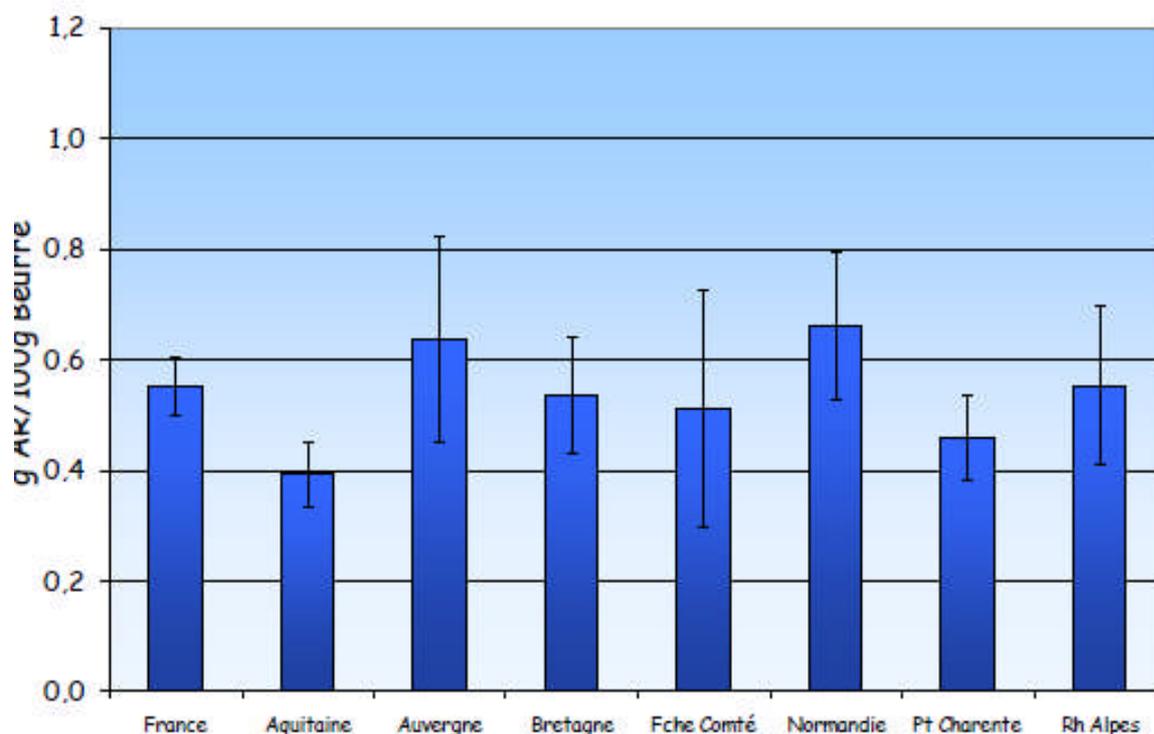


Figure 10 : Variations régionales des taux d'acide ruménique dans le beurre (Ledoux.2005).

II.2. Teneurs des AGT industriels dans les aliments

Les matières grasses végétales partiellement hydrogénées et les huiles ayant été portées à des températures élevées (comme à l'état de désodorisation au cours du raffinage) sont employées et présentes comme ingrédients dans certains produits alimentaires (biscuits, viennoiseries, produits céréaliers et de panification, confiseries chocolatées, préparation culinaires,...) aussi dans la fabrication de la margarine ou de shortenings. Les teneurs d'AGT varient selon des produits et selon les pays producteurs de ces aliments.

II.2.1. Teneurs d'AGT dans les margarines

La technologie de transformation des corps gras était largement utilisée dans la margarinerie ; avant 1995, certaines margarines de table pouvaient contenir plus de 15% d'AGT. A partir de 1996-1997, ces produits voient leurs teneurs en AGT baisser considérablement et passer sous la barre de 1%.

Le tableau IX montre les données extraites de l'observation des denrées alimentaires créée à l'Itegr afin de disposer d'une banque de données sur les teneurs et les compositions des aliments en AGT totaux et individuels (isomères C16:1t, C18:1t, C18:2t et C18:3t), en

AGS (C16 et C18), mono-insaturé et polyinsaturés. 160 produits contenant des matières grasses végétales partiellement hydrogénées ou désodorisées ont ainsi été analysés PAR L'ITERG. Les résultats concernant les margarines présentés ici reflètent la situation en 2000.

La mise en place de code de bonne pratique professionnelle (IMACE, juin2002) a favorisé cette nette tendance à la baisse (margarine de table : AGT < 1% -margarine professionnelle : formulation « low trans » < 5% d'AGT).

Tableau IX : Teneurs en AGT totaux de 2 catégories de margarines, exprimées en % des acides gras totaux et en g/100g de produit –Catégorie 1 : produits MDD, catégorie 2 : produits de marque- n : nombre de produits analysés (**Iterg, Rapport d'activité 2000**).

margarine	Acide gras trans totaux						
	n	% AG totaux			g/100g de produit		
		Moyenne	Mini	Maxi	Moyenne	Mini	Maxi
Catégorie 1	3	16,8	15,2	18,1	12,8	11,5	13,8
Catégorie 2	11	1,1	0,1	3,6	0,6	0,1	2

Le tableau suivant montre comment s'est traduite cette évolution sur quelques margarines dès 1994.

Tableau X : Exemple d'évaluation de la teneur(%) en AGT totaux de margarine (**Busson, 2000**)

	Septembre 92	Août 94	Mars 95	Mars 96
Margarine1	8,5	0,3	/	/
Margarine2	10,0	/	0,8	/
Margarine3	07,0	/	/	0,2
Margarine4	19,0	/	/	0,6

La teneur des margarines en AGT dans différents pays est résumée dans le tableau ci-dessous :

Tableau XI : Teneur des margarines en AGT des différents pays.

Régions	Margarines	Teneurs en AGT (%)	Auteurs
Allemagne	Margarine	1,40	Michels et Sacks, 1995
	Margarine diététique	1,20	
Royaume-Uni	Margarine	0,50	
Etats-Unis	Margarine allégée	2,00	
	Margarine en bâtonnet	18,60	
	Margarine en tube	9,00	
Turquie	Margarine	1) 0,20 2) 39,40 3) 17,40	Karabulut et Turan, 2006
	Margarine en bâtonnets	1) 37,80 2) 24,50 3) 18,00	Tekin <i>et al.</i> , 2002
	Margarine en tube	1) 0,00 2) 7,70	
Autriche	Margarine	1,60	Wagner <i>et al.</i> , 2000
Espagne	Margarine	1) 0,40 2) 8,24 3) 21,28	Alonso <i>et al.</i> , 2000
Etats Unis (Minneapolis)	Margarine	6,60	Matthew <i>et al.</i> , 2008
Costa Rica	Margarine en bâtonnet	13,25	Baylin <i>et al.</i> , 2007
	Margarine allégée en batonnet	14,30	
	Margarine en tube	10,83	
	Margarine allégée en tube	11,32	
Suisse	Margarine	3,86	Richter <i>et al.</i> , 2009

1, 2, 3 : nombre d'échantillons utilisés.

II.2.2. Teneurs d'AGT dans les huiles végétales et HVPH

En ce qui concerne les huiles végétales raffinées et donc désodorisées, (le tableau XII) indique les teneurs en AGT totaux rencontrées pour ces huiles.

Tableau XII : Teneurs en AGT dans des huiles raffinées (désodorisées)-source : Iteerg, rapport d'activité 2000.

Teneurs en AGT	Moyenne	Mini	Maxi
% des AG totaux	0,8	0,3	1,9
g/100g de produit	0,7	0,3	1,8

Si les huiles végétales vierges ou raffinées contiennent peu d'AG *trans* (de 0 à 1 %), les huiles à usage de friture et les huiles partiellement hydrogénées peuvent contenir des quantités importantes d'AG *trans*. Les isomères *trans* formés dans ces huiles sont principalement des isomères positionnels de l'acide élaidique, 85 à 95 % des AG *trans*.

La distribution et la composition des isomères de l'acide gras *trans* majoritaire sont très sensibles à l'origine de la matière première (Figure 11).

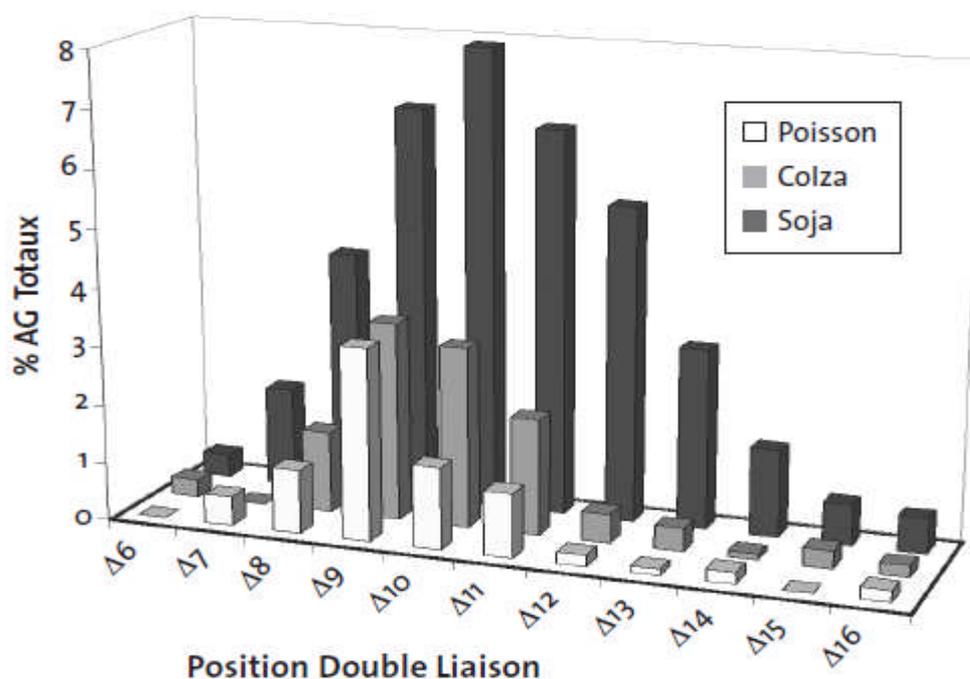


Figure 11: Distribution des isomères 18:1-*trans* dans des huiles partiellement hydrogénées d'après (Aro et al., 1998).

II.2.3. Teneurs d'AGT dans les shortenings

Les shortenings sont des mélanges de matières grasses anhydres, pré-cristallisées ou non selon les utilisations et principalement destinées à la biscuiterie. La possibilité de formuler ce type de produit avec des teneurs abaissées en AGT est illustrée sur le tableau XIII. Il faut également signaler qu'un changement de formulation peut impacter les propriétés fonctionnelles, la stabilité de produit (et donc la conservation) ainsi que la facilité d'approvisionnement.

Les teneurs en acides gras trans des shortenings peuvent varier de traces à plus de 50 % des acides gras totaux ((Chardigny et Malpuech-Brugere, 2007).

Tableau XIII: Teneurs en AGT de quelques shortenings utilisées comme phase grasse de quelques produits alimentaires-Exemple de formulation possibles-Source : Iteig, rapport d'activité 2000.

		C18 :1		C18 :2		C18 :3	
		Cis	Trans	Cis	Trans	Cis	Trans
MG de biscuit apéritif (25% de MG)	1	29,5	19	3,8	2,1	-	-
	2	24,1	0,1	63,4	0,2	-	-
MG de brioche (8 et 13% MG)	1	37,5	0,2	13,8	0,4	0,5	-
	2	25,1	29,1	7,5	2	0,5	-
MG de barres céréales (21% de MG)	1	59,4	0,3	13,9	0,3	0,5	0,1
	2	23,4	10,5	26,1	0,6	1,5	0,1

III. Métabolisme des AGT

Les acides gras suivent différentes voies métaboliques, principalement la β -oxydation, la bioconversion et l'acylation. Les acides gras *trans* et les isomères conjugués suivent ces mêmes voies.

III.1. Incorporation des AG *trans* et des CLA dans les tissus

III.1.1. Les AG *trans* mono insaturés

La présence d'isomères *trans* 18:1 a été notamment rapportée par (**Ohlrogge et Gulley, 1982**). Les analyses, réalisées sur des tissus obtenus après autopsie de 9 sujets ont montré la présence d'isomères *trans*18:1 dans différentes classes lipidiques du foie, du cœur, des globules rouges et du plasma. Des teneurs moyennes de 0,7-0,8 % des AG totaux ont été rapportées pour les 18:1 *trans* totaux dans des échantillons de cœur humain (**Rocquelin et Guenot, 1985**). Ces valeurs sont retrouvées également dans les phospholipides à choline et à ethanolamine cardiaque (**Rocquelin et Guenot, 1989**). Dans les phospholipides à choline, l'acide élaidique est majoritaire.

III.1.2. Les AG *trans* polyinsaturés

L'étude **Transline** est la seule étude d'intervention nutritionnelle publiée. Il convient de mentionner que chez des volontaires avant supplémentation, des isomères 18:3 *trans* sont présents dans le plasma. Après 6 semaines de supplémentation en isomères *trans* du 18:3 à hauteur de 0,6 % de l'énergie, l'incorporation atteint respectivement +0,37,+0,14 et +0,26 % des AG totaux dans les triglycérides, les phospholipides et les esters de cholestérol plasmatiques (**Sebedio et Vermunt, 2000**).

III.1.3. Les CLA

Plus de 1 % de CLA totaux dans le plasma de volontaires après 63 jours de supplémentation à hauteur de 3,9 g/j, par comparaison à moins de 0,5 % avant supplémentation a été rapporté par **Benito et Nelson (2001)**. L'administration de 1,47 g/j du mélange d'isomères pendant 45 jours augmente le taux de chaque isomère dans les triglycérides et les phospholipides circulants.

III.2. La bioconversion des AGT

Il a été estimé que, en moyenne, 19 % de l'acide vaccénique ingéré est converti en acide ruménique chez l'Homme (**Turpeinen et Mutanen , 2002**)

Concernant l'impact des CLA sur la conversion d'autres AG, peu d'études se sont intéressées à cette question. On peut toutefois mentionner l'étude de (**Thijssen et Sebedio , 2004**) qui n'a pas mis en évidence modification de l'expression des desaturases dans les cellules blanches de volontaires ayant consommé l'un ou l'autre des isomères de CLA, bien que des modifications des profils en AG plasmatiques et des index de désaturation aient été observées.

III.3. Les métabolismes oxydatifs des AGT

III.3.1. Les AG *trans* mono insaturés

Grace au marquage au ^{13}C , (**DeLany et Windhauser, 2000**) ont montré, chez le volontaire sain, que les oxydations métaboliques de l'acide élaidique (18:1 $9t$) et de l'acide oléique (18:1 $9c$) présentent des cinétiques identiques. En revanche, on peut regretter l'absence de données disponibles pour l'acide vaccénique et le 18:1 $10t$.

III.3.2. Les AG *trans* polyinsaturés

Chez le volontaire sain, il a été montré que l'isomère 18:3 $9cis$, $12cis$, $15trans$ et l'acide linoléique présentent une cinétique d'oxydation identique. En revanche, l'isomère 18:2 $9cis$, $12trans$ est plus β -oxydé que son homologue *cis*, l'acide linoléique (**Bretillon et Chardigny , 2001**).

III.3.3. Les CLA

Une étude réalisée chez l'homme en surcharge surpoids (IMC compris entre 25 et 30) suggère que l'acide ruménique est plus oxydé que l'isomère $10trans$, $12cis$.

I. Effets de la consommation des AGT sur la santé

Les conséquences délétères des AGT industriels sur la santé sont nombreuses. Surpoids, obésité, syndrome métabolique, diabète de type 2 et maladies cardiovasculaires arrivent en tête. Les résultats sont moins clairs pour les pathologies immunitaires et les cancers. Il semble schématiquement exister un risque linéaire au-delà d'un apport journalier de 2% des AET (apports énergétiques totaux). Toute augmentation de 2% de l'AET sous forme d'AG augmenterait le risque coronarien de 28%.

Mais tous les *trans* ne se valent pas. L'acide vaccénique et les CLA naturels se démarquent des autres *trans*. On admet que le principal CLA naturel (l'acide ruménique C18 :2 9c, 11t) et son précurseur l'acide vaccénique C18 :1 11t, principalement retrouvés dans les produits laitiers et la viande de ruminants ne présentent pas d'effet délétère. Des études ont par ailleurs confirmé leur rôle dans la diminution de l'insulinorésistance.

I.1. Effets des AGT naturels sur la santé

Peu d'études ont investigué les effets des AGTn sur la santé chez l'humain. Les premières observations de leurs effets proviennent des études épidémiologiques. Les études épidémiologiques chez des hommes ont généralement rapporté aucun effet des AGTn sur les risques de MCV, avec des apports habituels (**Oomen et al., 2001**).

Certains résultats d'études cliniques et épidémiologiques suggèrent toutefois que la réponse aux AGTn serait différente chez les femmes (**Jakobsen et al., 2005 ; Jakobson et al., 2008**). Ils n'ont pas observé d'association entre les apports absolus ou ajustés pour l'énergie en AGTn et le risque coronarien, pour toute la cohorte et chez les hommes. Cependant, chez les femmes, les résultats pointaient plutôt vers une association inverse entre l'apport en AGTn et le risque de maladie coronarienne : le risque relatif de l'augmentation de 0,5g était de 0,84 [intervalle de confiance (IC) de 95% :0,70-1,01] pour les apports absolus d'AGTn et de 0,77 (IC 95% :0,55-1,09) pour les apports en AGTn ajustés pour l'énergie. Il est intéressant de souligner que l'association inverse observée chez les femmes était plus marquée chez les femmes âgées de 60 ans ou moins que chez les femmes de plus de 60 ans. **Jakobsen et al., 2008**), cliniquement, ont observé que des apports modérément élevés en AGTn (1,5% de l'apport énergétique total) n'avaient pas eu d'impact sur les risques de MCV chez l'homme, suggérant ainsi que la consommation d'AGTn ne semblait pas être un facteur contribuant au

risque de MCV (**Motard-Belanger et al., 2008**). Ces AG ne sont non seulement associés aux risques accrus de maladies cardiaques, mais ils aident à prévenir le cancer (**Bishop-MacDonald, 2005**).

L'effet des CLA sur l'obésité chez l'homme a été étudié en raison du fait que chez un animal modèle comme la souris, le mélange équipondéral des deux isomères 18 :2 9c, 11t et 18 :2 10t, 12c s'est révélé capable de modifier favorablement la composition corporelle par une diminution de la masse grasse et une augmentation de la masse maigre) et était ainsi susceptible d'avoir un effet anti-obésité. Elle mesure par la variation de masse grasse après l'administration du mélange d'isomères chez des patients obèses pendant 3 mois. On observe

Une diminution de la masse grasse de la dose la plus faible qui s'accompagne d'une augmentation de la masse maigre à la plus forte dose.

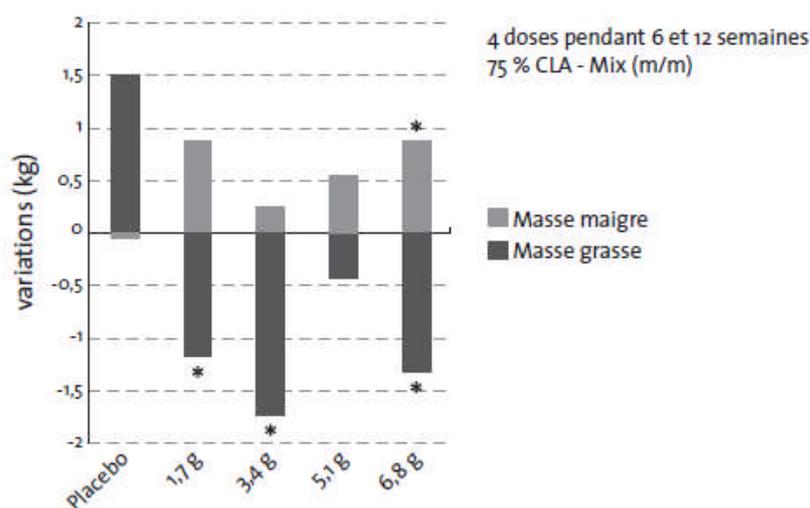


Figure 12 : CLA et composition corporelle chez l'homme (**Blankson et al., 2000**).

Des études ont été également effectuées sur les effets des CLA sur l'athérosclérose, pratiquement, il a été montré que le rapport de CLA dans le régime alimentaire des hamsters et lapins abaissait la formation d'athérosclérose et réduisait la quantité totale de cholestérol et de LDL-cholestérol du sérum sanguin. Une étude montre quand à elle, des effets bénéfiques de l'apport en beurre enrichi en acide ruménique et vaccénique sur l'athérogenèse expérimentale chez le lapin, alors que des effets délétères sont rapportés avec un beurre enrichi en 18 :1 10t.

Chez l'homme, plusieurs études ont montré, de façon paradoxale, que la réduction de la masse grasse ne s'accompagne pas de modification de la sensibilité à l'insuline (**Riserus et al. 2000; Smedman et Vessby, 2001**).

Plus récemment, d'autres études ont porté sur l'effet spécifique des deux principaux isomères 9c-11t et 10t, 12c. L'administration de 3,4g/jour d'isomère 10t, 12c pendant 12 semaines induit, chez des sujets obèses, une résistance à l'insuline, mesurée par un clamp euglycémique (hyper insulinémique) (**Riserus et al. 2002**). En relation avec cet effet, l'isomère 10t, 12c augmente la proinsuline, le rapport pro insuline/insuline et le peptide C. En revanche, on observe que l'adiponectine plasmatique reste inchangée en dépit d'une diminution de la sensibilité à l'insuline (**Riserus et al, 2004**). Une seule étude a porté sur les effets de l'isomère 9c-11t sur la sensibilité à l'insuline dans un groupe de patients présentant une obésité de type androïde. Après une supplémentation de 3 g/jour pendant 12 semaines, la composition corporelle et les paramètres lipidiques sont inchangés. En revanche, les traitements s'accompagnent d'une diminution de la sensibilité à l'insuline et une augmentation de la peroxydation lipidique. A contrario, on peut citer le travail de (**Schmitt et al., 2003**), sur l'amélioration de l'insulinorésistance chez le diabétique de type 2 par l'apport de 0,3 g/j de CLA 9c-11t d'origine laitière dans un groupe de 17 diabétiques de type 2. Cette supplémentation s'est traduite par une augmentation significative des CLA circulants (+157 %), une diminution de 18,6 % des besoins insuliniques, une diminution de 27 % de la résistance insulinique (HOMA-test) mais sans amélioration significative des glycémies à jeun et de l'hémoglobine glyquée par rapport au groupe témoin. Parallèlement, on constate une diminution significative du tour de taille de 2,24 cm mais sans changement significatif ni du poids ni de l'IMC. L'existence d'une corrélation négative entre la sensibilité à l'insuline et l'oxydation peroxysomale des lipides a permis d'émettre une hypothèse concernant les mécanismes d'action des CLA (**Riserus et al., 2004 ; Basu et al., 2000**). Les CLA via une augmentation de la peroxydation lipidique conduiraient à un stress oxydant qui altère la signalisation insulinique (**Rudich et al., 1997 ; Tirosh et al., 1999**). Ces résultats montrent un effet délétère sur la sensibilité à l'insuline des deux isomères, qui est indépendant de l'effet anti-obésité. D'autres études ont toutefois mis en évidence un rôle préventif des CLA et notamment du 9c-11t sur le stress oxydatif (**Banni et al, 1998; Riserus et al 2002 ; Riserus et al, 2004**). L'augmentation des marqueurs de l'inflammation PGF2 α constatée lors de l'administration de CLA pourraient ainsi être indépendante du stress oxydant (**Riserus et al., 2002**).

I.2. Effets des AGT industriels sur la santé

(**Mensink et Katan, 1990**) ont rapporté en la première étude d'intervention montrant des effets délétères de la consommation d'AGT d'origine industrielle. Avec un apport équivalent à 11 % de l'AET, il a été démontré que les AGT induisent une augmentation du LDL-C comme avec les AGS, mais aussi une diminution du HDL-C qui elle n'est pas observée avec les AGS. Plusieurs études du même type, mais avec des niveaux d'apport plus faibles en AGT ont ensuite été rapportées. Elles sont reprises dans la synthèse de (**Zock et Katan, 1997**) ; (Figure 13). Ces résultats ne concernent toutefois que les AGT d'origine technologique.

Dans une étude rapportée par (**Bolton- Smith et al., 1996**), un effet plus marqué chez les femmes que chez les hommes est signalé. Dans la même étude, les AGT d'origine naturelle ne semblent pas représenter les effets délétères des AGT d'origine technologique.

Les études épidémiologiques suggèrent, pour la plus part, une association entre la consommation d'AGT et le risque cardiovasculaire. (**Oomen et al., 2001**) ont ainsi proposé qu'une consommation d'AGT à hauteur de 2% de L'AET augmente le risque cardiovasculaire de 25%.

De plus, en cas de forte consommation, les AGT favorisent les inflammations, ils peuvent également entraîner une augmentation du risque de développer un diabète de type 2 chez la femme et ils ont une influence négative sur le métabolisme des Acides Gras Essentiels.

Les études se rapportant à la réponse immunitaire sont peu nombreuses et contradictoires. Elles ont porté sur l'acide élaidique (une seule étude) et le mélange des isomères 9*c*,11*t* et 10*t*,12*c* de l'acide linoléique. Elles ne permettent pas de conclure à un effet, favorable ou défavorable, d'autant plus que l'état physiopathologique du sujet joue un rôle important dans l'évaluation de l'effet. Un résultat récent suggère que le 9*c*,11*t* n'a pas d'effet sur l'immunité

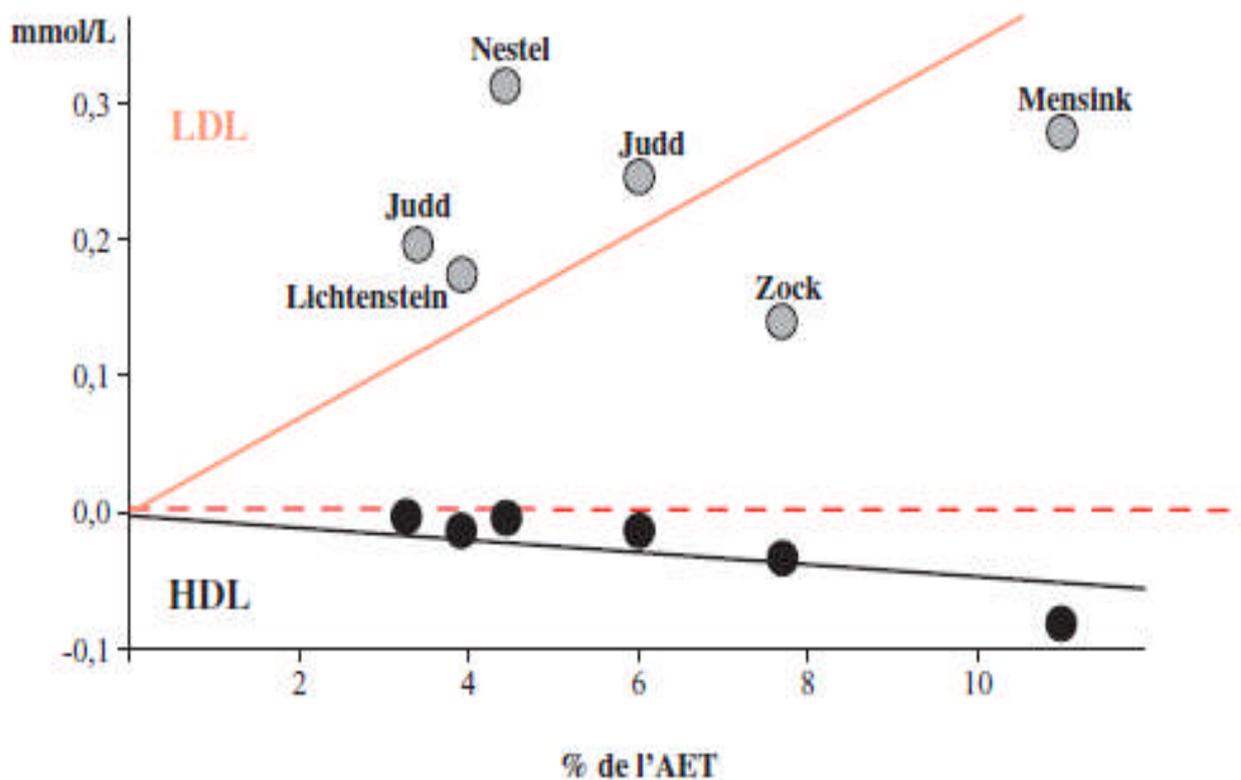


Figure 13: Effets de la consommation d'AGT sur le cholestérol LDL et le cholestérol HDL en fonction de l'apport énergétique total (AET) (Zock et Katan, 1997).

II. Consommation mondiale des AGT

II.1. Consommation des AGT industriels

Selon des données recueillies entre 1989 et 1991 aux États-Unis, la consommation moyenne d'AGT de toutes sources était estimée à environ 5,3 grammes par jour, ce qui correspond à environ 2,6% de l'apport énergétique total (Ascherio *et al.*, 1996). Une étude épidémiologique chez des infirmières, la Nurses' Health Study, a estimé que les apports quotidiens en AGT représentaient 2,2% de l'apport énergétique total en 1980 et que ces apports ont diminué

jusqu'à atteindre 1,6% de l'énergie totale en 1998 aux États-Unis (**Oh et al., 2005**). Pour Les hommes de l'étude « Health Professionals Follow-Up », qui ont été suivis de 1986 à 1992, l'apport en AGT représente environ 0,8 à 1,6% d'apport énergétique, ce qui correspond à un apport quotidien de 1,5 à 4,3 grammes par jour. La figure 14 montre les principales sources d'AGT en Amérique du Nord en 2003.

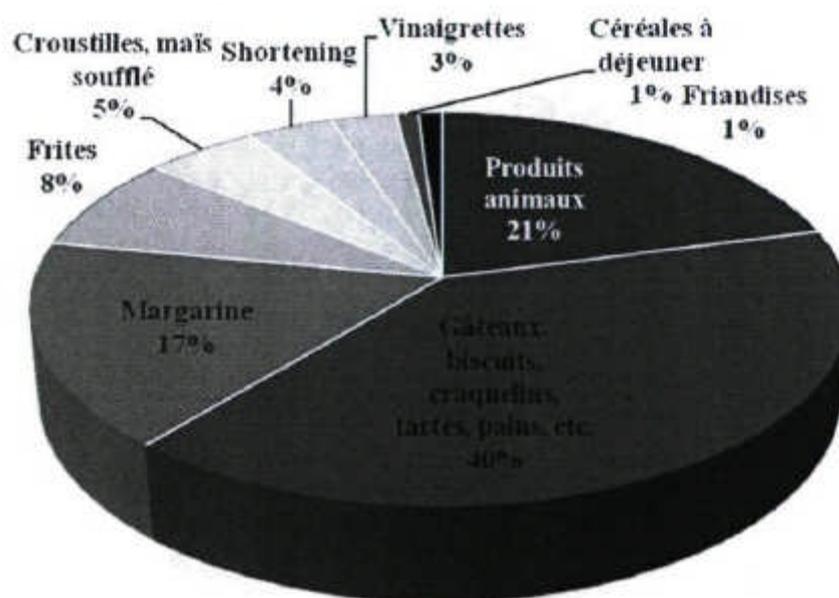


Figure 14: Principales sources d'AGT en Amérique du Nord en 2003 (**Mozaffarian et Willett, 2007**).

Au Canada, l'apport moyen en AGT est passé de la valeur de 8,4 grammes par jour (3,7% de l'énergie totale) dans le milieu des années 1990 à 4,8 g/jour (2% de l'énergie totale) en 2004 et a diminué jusqu'à atteindre 3,4 g/jour (1,4% de l'énergie totale) (**Ratnayake et al., 2009**). Les industries et les autres instances impliquées dans la préparation d'aliments destinés aux consommateurs canadiens doivent, depuis 2007, diminuer les gras trans à moins de 2% des gras totaux pour les produits tartinables et de moins de 5% des gras totaux pour les autres produits transformés. Le rapport le plus récent de Santé Canada, publié en 2009, stipule que 78% des produits évalués répondent aux exigences (**Ratnayake et al., 2009**).

L'apport en AGT dans la communauté européenne a été étudié dans la « TRANSFAIR Study » et les données ont été publiées en 1999 (**Hulshof et al., 1999**). L'apport total en AGT allait de 1,2 g/jour (0,5% de l'énergie totale) en Grèce à 6,7 g/jour (2,1% de l'énergie totale) en Islande pour les hommes et 1,7 g/jour (0,8% de l'énergie totale) en Grèce à 4,1 g/jour (1,9% de l'énergie totale) en Islande chez les femmes. L'apport en AGT était plus faible dans les pays Méditerranéens (0,5-0,8%), mais était aussi <1% en Finlande et Allemagne. Des apports modérés étaient observés en Belgique, dans les Pays-Bas, en Norvège et en Grande-Bretagne tandis que les apports les plus élevés ont été observés en Islande.

Dans les pays les plus au nord (Finlande, Islande, Norvège, Pays-Bas et Grande-Bretagne), les sources principales provenaient des huiles et des gras partiellement hydrogénés. Parmi ces sources, les margarines et autres produits tartinables ainsi que les gras servant à la cuisson et à la friture contribuaient pour plus de 30% de l'apport en AGT. Dans les autres pays, les AGTi ne représentaient qu'un maximum de 1% de l'apport en AGT.

L'apport en AGTi a diminué considérablement au Danemark ainsi que d'autres pays d'Europe de l'ouest depuis le milieu des années '90 en raison des pressions sociétales sur les producteurs alimentaires pour réduire le contenu en AGTi (**Stender et al., 2008**).

En Australie, l'apport en AGT de toutes sources a été évalué à partir des données fournies par la "Melbourne Collaborative Cohort Study", une étude prospective comptant 41528 résidents de la ville de Melbourne, âgés de 40 à 69 ans, qui s'est déroulé de 1990 à 1994. L'apport total en AGT a été estimé à environ 0,8g/jour (**Chong et al., 2009**). Il est important de spécifier que les gras partiellement hydrogénés ont été retirés des margarines dans les années '90 en Australie et que les apports en AGT ont donc probablement diminué depuis la publication de ces données.

Plusieurs pays ont récemment introduit des lois régissant les quantités d'AGT et l'étiquetage des produits transformés dans le but de réduire l'utilisation des AGT par l'industrie et du fait même, de limiter leur consommation dans la population. Ces démarches ont eu pour effet de faire disparaître rapidement les AGTi des aliments qui contribuaient pour une plus grande proportion des apports en AGT dans plusieurs pays industrialisés.

II.2. Consommation mondiale d'AGT naturels

Peu de données récentes sur la consommation d'AGTn sont actuellement disponibles. **(Hunter et Applewhite, 1991)** ont estimé l'apport en AGTn à environ 1,34 g/jour, ce qui correspond à 25% de l'apport total en AGT. Un rapport de la Trans Task Force publié en 2006 estimait l'apport en AGTn au Canada à environ un gramme par jour **(L'Abbe et Brown, 2006)**. En Europe, les apports estimés en AGTn (à partir de la TRANSFAIR study), représentaient de 28% pour la Norvège à 79% pour l'Allemagne de l'apport total en AGT. En Allemagne et en France, le beurre contribuerait en plus grandes proportions à l'apport total en AGT et pourrait donc représenter de 10 à 15% du total en AGT consommés. Les gras provenant de la viande des ruminants contribuaient à 5% (Finlande et Allemagne) et jusqu'à 21% (Espagne et Suède) de l'apport total en AGT. La viande et les produits de la viande fournissaient de 13% à plus de 40% de l'apport total en AGT en Italie et en Allemagne, respectivement. La quantité de gras dans le lait et la viande de ruminant disponible pour la consommation est restée relativement stable de 1970 à 2001 au Danemark. Les AGTn sont maintenant la source principale d'AGT dans ce pays, où l'on retrouve les plus petites quantités d'AGTi dans les produits transformés.

Le tableau suivant représente les consommations estimées en CLA dans différents pays, selon des données bibliographiques ;

Tableau XIV : Consommation estimée de CLA dans différents pays.

Pays	Consommation (g/j/pers)	Références
Australie (1994)	0.5-1.5	(Parodi.,1994)
Allemagne (1998)	0.35-0.43	(Fritsch et al.,1998)
Allemagne (2002)	0.25-0.32	(Fremann et al.,2002)
Suède (1999)	0.16	(Jiang et al.,1999)
Pays-Bas (2002)	0.20	(Woorrips et al.,2002)
Etats-Unis (1998)	0.13	(Herbel et al.,1998)
Etats-Unis (2001)	0.10-0.18	(Ritzenthal et al.,2001)
.-	0.15-0.21	(Ritzenthal et al.,2001)

III. Recommandations et législations

Sur la base d'une analyse des niveaux de consommation par catégorie de consommation et en fonction des principaux aliments contributeurs, des organismes et agences émettent des recommandations.

III.1. Recommandations de l'AFSSA

III.1.1. Les AG trans totaux

- Une consommation supérieure au seuil de 2% de l'AET sous forme d'AG trans totaux entraîne une augmentation significative du risque MCV. L'AFSSA recommande de considérer un niveau de consommation à ne pas dépasser.
- Respecter un des objectifs du programme national nutrition santé (PNNS) qui consiste à diminuer la consommation d'AGS, puisqu'il a été observé que la consommation d'AG trans totaux et d'AGS sont corrélées et que la réduction des AGS de 18% à 16% de l'AET diminue de 50% la consommation journalière d'AG trans totaux.
- Réduire de 30% au moins la consommation de certains aliments contributeurs d'AG trans (Viennoiseries, pâtisseries, produits de panifications industriels, barre chocolatées, biscuits) de faible intérêt nutritionnel. Une réduction de 30% permet de baisse de l'apport en AG trans totaux comprise entre 0.15 et 0.3 g/j, soit une baisse de l'ordre 0.1% de l'AET chez les forts consommateurs en énergie, en même temps qu'une baisse importante de la consommation d'AGS.
- Ne pas diminuer la consommation de lait et des produits laitiers, bien qu'ils soient des aliments fortement contributeurs d'AG trans totaux. En effet, une telle diminution serait inappropriée dans la population générale en considération des apports calciques à respecter, et spécialement pour les enfants de 12-14 ans qui présentent une prévalence d'inadéquation des apports calcique plus marquée. Il est recommandé de consommer préférentiellement des produits écrémés ou demi-écrémé. Les apports en AG trans totaux (et en AGS) peuvent ainsi être diminués sans modification des apports calciques.

- Consommer des steaks hachés à 5% de matière grasses de préférence à des steaks hachés à 15% de matière grasses, ce qui permet de réduire les apports en AG trans totaux de 0.1 g/j.
- Par souci, de cohérence avec la baisse de consommation des viennoiseries, pâtisseries, produits de panifications, barre chocolatées, biscuits, il faut encourager les industriels de la margarinerie et matières grasses destinés au secteur de l'agro-alimentaire à prolonger leurs efforts en faveur d'une diminution des teneurs en AG trans de leurs produits.

III.1.2. Les isomères de CLA

- L'apport moyen de CLA est de 180 mg/j dans la population française. Les forts consommateurs se situent entre 400 mg/j et 450 mg/j. L'acide ruménique 18 :2 9c, 11t représente 90% des CLA, soit un apport de 160 mg/j. L'apport en 10t, 12c ne peut pas être directement mesuré. Il pourrait être estimé à 20 mg/j à 45 mg/j pour les forts consommateurs. Les niveaux des apports en 18 :2 9c, 11t et 18 :2 10t, 12c dans le cadre d'une alimentation courante ne justifient donc aucune mesure particulière au regard de la littérature scientifique.

III.2. Recommandation du CSS (Conseil Supérieur de la Santé)

- L'interdiction de la vente d'aliments contenant plus de 2 g d'AGT industriels par 100 g d'huile ou de graisse. Cette décision pourrait donc être une manière efficace de participer à cet objectif de réduction de la consommation des AGT d'origine industrielle.
- Une actualisation des données analytiques belges sur la teneur en AGT dans les denrées alimentaires
- Réduire au maximum la consommation d'AGT d'origine industrielle. Ces AGT ne devraient pas dépasser 2 g par 100 g d'huile ou de graisse, ce qui permettrait de limiter leur apport à < 1% des apports énergétiques totaux.

- Considérer les acides linoléiques conjugués (CLA) de manière spécifique ; leurs effets étant vraisemblablement très particuliers par rapport aux effets des AGT mono insaturés ou non conjugués. Parmi les CLA, la distinction entre acides linoléiques conjugués naturels et acides linoléiques conjugués produits chimiquement est indispensable. Ils 'agit ici aussi de mélanges d'isomères dans des proportions très différentes et avec des propriétés biologiques différentes. Dans ce contexte, les compléments alimentaires constitués par des acides linoléiques conjugués produits chimiquement sont très fortement déconseillés.
- L'importance de remplacer les AGT par des huiles ou graisses ne contenant pas une proportion élevée de certains AGS (palmitique, myristique, et laurique). En Effet, une consommation importante de ces AGS entraîne l'élévation de la concentration de LDL-cholestérol, et par là augmente le risque cardio-vasculaire. A cet égard, le CSS travaille à l'élaboration d'un avis sur l'utilisation grandissante, et préoccupante, de l'huile de palme dans de nombreux aliments. Les meilleures options en termes de santé publique consistent à remplace les AGT par des huiles ou graisses riches en AGI de type cis (p.ex. l'acide oléique de l'huile d'olive) ou en acide stéarique (rapidement converti en acide oléique).

III-Traçabilité des acides gras trans :

Les acides gras *trans* (AGT) font l'objet de développements récents intégrant plusieurs aspects d'ordre réglementaire, scientifique à partir des résultats de recherche intégrés dans les études et rapports d'experts, et technologique par les solutions progressivement mises en place, certaines depuis déjà une dizaine d'années, pour contribuer à diminuer leurs niveaux de consommation. L'étiquetage des acides gras trans vise à sensibiliser d'avantage le consommateur aux effets nuisibles qu'ils peuvent présenter et à l'aider à faire le bon choix (Berthoud et Real, 2008).

Depuis le 1er juin 2003, la réglementation danoise limite la teneur des AGT d'origine industrielle (c'est-à-dire à l'exception de ceux naturellement présents dans les matières grasses d'origine animale) à 2 % des lipides totaux dans tous les produits alimentaires.

Au niveau international, au *Codex Alimentarius*, la question des AGT a été traitée par le Comité sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime, en particulier pour en définir la nature (voir définitions ci-après) et aux fins des directives du Codex relatives à l'étiquetage nutritionnel (Comité Codex sur l'étiquetage des denrées alimentaires – CCFL).

Aux États-Unis et au Canada, l'étiquetage des AGT et des acides gras saturés entrera en vigueur au 1er janvier 2006. Le tableau ci-dessous montre les pays qui ont réglementé l'utilisation des Acides Gras Trans et leur étiquetage :

Tableau XV : Pays ayant réglementé l'utilisation des Acides Gras Trans et leur étiquetage :

	Danemark	Canada	Etats Unis	Autriche
Date d'application	1/06/2003	12/2005	01/2006	08/2009
Définition AGT	tout les AGMI trans et tout les AGPI trans à doubles liaisons non conjugués ou isolés, exclusion les AGT naturel et des CLA			
Condition d'utilisation	2% dans les huiles et graisses 2% des MGT dans tout produit alimentaire vendu au consommateur (industrie, restaurants, cantines, Institutions)		Pas de maxi étiquetage obligatoire.	2% de MGT Dans tout produit alimentaire vendu au consommateur. 4% des MGT pour Les aliments Contenant moins de 20% de lipide
Étiquetage Obligatoire	seulement si allégation	oui	oui	non
Allégations Possibles	<1% des MGT « sans AGt »	< 2g/portion + faible en AGS « sans AGt »	<0.5g AGt/portion « sans AGt » <4g AGS+AGt : aucun allégation possible	/

Conclusion générale

Les AGT sont des acides gras insaturés qui diffèrent de leur isomère cis dans les propriétés physico-chimiques, biochimique et biologiques ; ils sont formés au cours de trois opérations : la biohydrogénation des AGPI dans le rumen des ruminants, l'hydrogénation catalytique partielle des huiles végétales et le traitement thermique des cors gras.

Les effets délétères des AGT d'origine technologique en termes de risque cardiovasculaire sont bien documentés. C'est pourquoi les teneurs en AGT ont été considérablement réduites dans les margarines au cours de la dernière décennie. Cependant, ces AGT sont toujours présents dans certaines préparations contenant des « huiles végétales partiellement hydrogénées ». En revanche, les AGT d'origine naturelle et notamment ceux des produits laitiers ne peuvent en aucun cas être associés à un tel risque et des effets bénéfiques potentiels ne sont pas à exclure. Ainsi les études sur l'acide ruménique et vaccénique s'avèrent particulièrement prometteuses.

La chasse aux AGT est en train de se mettre en place et il est important que les industriels prennent rapidement des mesures concrètes pour diminuer l'utilisation du procédé d'hydrogénation. D'autres méthodes sont actuellement étudiées, comme par exemple « l'interestérification », qui est un procédé qui permet de solidifier les huiles sans passer par l'hydrogénation.

En Algérie, le dosage des isomères trans dans certains produits très consommés notamment ceux contenant des shortenings est nécessaire, afin d'avoir une approche estimative sur notre consommation en matière d'AGT.

Références bibliographiques

A

Ackman R.G., Hooper S.N., Hooper D.L. 1974. Linolenic acid artefacts from the deodorization of oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 51, 42-49.

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, Sebedio J.-L., Christie W.W., eds., *The Oily Press*, Dundee, pages 35-58.

Aderian J., Potus J. et Frangne R. 2003. La science alimentaire de A à Z . Ed 3. Tec et Doc. Lavoisier, Paris.2-7430-0568-8 :07_11.

Alonso L., Fraga M-J. et Juarez M.2000. Determination of trans fatty acids and fatty acid profiles in margarines marketed in Spain. *Journal of the American Oil Chemists' Society.* 77(2): 131-136.

Aro A., Kosmeijer-Schuil T., Van Der Bovenkamp P., Hulshof P., Zock P.L., Katan M.B. 1998. 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, 977-985.

Ascherio A, Hennekens CH, Buring JE, Master C, Stampfer MJ, Willett WC. 1994. Trans-fatty acids intake and risk of myocardial infarction. *Circulation* ;89:94-101.

Ascherio A, Rimm EB, Giovannucci EL, Spiegelman D, Meir S, Willett WC. 1996. Dietary fat and risk of coronary heart disease in men: cohort follow up study in the United States. *BMJ* 1996;313:84-90.

Attia-Skhiri N, Fournier N, Pourci, M-L Paul J-L 2009. Acides gras trans : effets sur le métabolisme des lipoprotéines et le risque cardiovasculaire. *Annale de biologie Clinique* 67(5) : 517-23.

B

Banni S, Angioni E, Contini MS. 1998. Conjugated linoleic acid and oxidative stress. *J Am Oil Chem Soc.* ; 75:261-267.

Basu, S., Smedman A. 2000.“Conjugated linoleic acid induces lipid peroxidation in humans.”*FEBS Letters* 468: 33-36.

Références bibliographiques

Baylin A., Siles X., Donovan-Palmer A., Fernandez X. et Campos H. 2007. Fatty acid composition of Costa Rica food including trans fatty acid content. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20: 182-192.

Benito,P., Nelson G. J.. 2001.“The effect of conjugated linoleic acid on platelet function, platelet fatty acid composition, and blood coagulation in humans.” *Lipids* 36(3): 221-7.

Berneis K. 2007. Les acides gras trans un risque évitable pour la santé . *Forum Med Suisse*.7 : 101-104.

Bishop-MacDonald H. 2005. Les gras trans passés au tamis. *Le Forum des Spécialistes*:1-3.

Blankson H, Stakkestad JA, Fagertun H, Thom E,Wadstein J, Gudmundsen O. 2000. Conjugated linoleic acid reduces body fat mass in overweight and obese humans. *J Nutr*. 130:2943-2948

Bolton-Smith C, Woodward M, Fenton S. 1996. Does dietary trans fatty acid intake relate to the prevalence of coronary heart disease in Scotland? *Eur Heart J* ;17:837–45

Borel J et Randoux A. 1987, Chromatographie en phase gazeuse ; Inappareil et méthode en biochimie.(3ème édition : flamarion) ; Médecine-science , Paris ;129-188.

Bretillon, L., Chardigny J. M. 2001. “Isomerization increases the postprandial oxidation of linoleic acid but not alpha-linolenic acid in men.” *J Lipid Res* 42(6): 995-7.

Brühl L. 1995. Determination of *trans* fatty acids in cold pressed oils. *Eur. J. Med. Res.*, 1, 89 - 93.

Busson V. 2000. Preoccupations nutritionnelles et communication de l'industrie. *OCL* volume 7 numero 1.

C

Chardigny JM, Destailats F, Malpuech-Brugere C. 2008. Do trans fatty acids from industrially produced sources and from natural sources have the same effect on cardiovascular disease risk factors in healthy subjects? Results of the trans Fatty Acids Collaboration (TRANSFACT) study. *Am J Clin Nutr* ;87:558-66.

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, 323 - 335.

Références bibliographiques

Chilliard Y., Ferlay A., Rouel J., Lamberet G. 2003. A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *J. Dairy Sci.*, 86, 1751 - 1770.

Chin SF, Liu W, Strokson JM, HA YL , Pariza MW. 1992. Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. *J Food Compos Anal*; 5: 185-97.

Chong EWT, Robman LD, Simpson JA. 2009. Fat Consumption and Its Association With Age-Related Macular Degeneration. *Arch Ophthalmol* 2009;127:674-80

Christian M. 2000. Biochimie structural et métabolite. Ed. 3. Deboeck, Paris : 155-172

Christie W.W. 1989. Isolation of fatty acids and identification by spectroscopic and chemical degradative techniques. In Gas chromatography and lipids, Christie W.W. ed., *The Oily Press*, Dundee, pages 133-145..

D

DeLany, J. P., Windhauser M.M. 2000. "Differential oxidation of individual dietary fatty acids in humans." *Am J Clin Nutr* 72(4): 905-11.

Devinat G., Scamaroni L., Naudet M. 1980. Isomerisation de l'acide linoléique durant la désodorisation des huiles de colza et de soja. *Rev. Franç. Corps Gras*, 27, 283-287.

DiFrancesco L. 2006. Comment réduire ou éliminer les gras trans dans les aliments au menu. Canadian Restaurant and Food services association : 1-15.

F

Firestone D., Sheppard A. 1992. Determination of *trans* fatty acids. In Advance in Lipid Methodology, Christie W.W., ed., *The Oily Press*, Dundee, pages 273-322.

Fremann D, Linseisen J , Wolfram G. 2002. Dietary conjugated linoleic acid (CLA) intake assessment and possible biomarkers of CLA intake in young women. *Public Health Nutr* ; 5 : 73-80.

Fernandez San Juan P.M. 1996. Study of isomeric *trans* fatty acids content in the commercial Spanish food. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 47, 399-403.

Fritsch J, Fritsch S, Solomon MB. 2000. Quantitative determination of conjugated linoleic acid isomers in beef fat. *Eur J Lipid Sci Technol*; 102:667-72.

Références bibliographiques

Fritsch J, Steinhart H. 1998 Amounts of conjugated linoleic acid (CLA) in german foods and evaluation of daily intake. *Z Lebensm Unters Forsch A* ;206:77-82.

G

Grandgirard A. 1992. Transformations des lipides au cours des traitements thermiques. Effets nutritionnels et toxicologiques. *Les Cahiers de l'ENS. BANA*, 49-57.

Griinari J.M., Bauman D.E. 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. In Yurawecz M.P., Mossoba M.M., Kramer J.K.G., Pariza M.W., Nelson G.J., eds. *Advances in conjugated linoleic acid research*. Vol. 1. AOCS Press, Champaign, Illinois. Pages 180-200.

Griinari, J. M., Corl B. A. 2000. "Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Delta(9)-desaturase." *J. Nutr.* 130(9): 2285-91.

Griinari J.M., Corl B.A., Lacy S.H., Chouinard P.Y., Nurmela K.V.V., Bauman D.E. 2000. Conjugated Linoleic Acid is synthesized endogeneously in lactating dairy cows by D9-desaturase. *J. Nutr.*, 130, 2285 - 2291.

H

Herbel BK, Mcguire MK, Mcguire MA. 1998. Safflower oil consumption does not increase plasma conjugated linoleic acid concentrations in Humans. *Am J Clin Nutr* ; 67 : 332-7.

Hu FB, Stampfer MJ, Manson JE. 1997. Dietary fat intake and the risk of coronary heart disease in women. *N Engl J Med* 1997;337:1491-9.

Hulshof KF, van Erp-Baart MA, Anttolainen M. 1999 Intake of fatty acids in western Europe with emphasis on trans fatty acids: the TRANSFAIR Study. *Eur J Clin Nutr* 1999;53:143-57.

Hunter JE, Applewhite TH. 1991. Reassessment of trans fatty acid availability in the US diet. *The American Journal of Clinical Nutrition* ; 54:363-9.

I

Iteq, rapport d'activité 2000.

J

Jakobsen MU, Bysted A, Andersen NL. 2005. Intake of ruminant trans fatty acids in the Danish population aged 1-80 years. *Eur J Clin Nutr* ; 60:312-8.

Références bibliographiques

Jakobsen MU, Overvad K, Dyerberg J, Heitmann BL. 2008. Intake of ruminant trans fatty acids and risk of coronary heart disease. *Int J Epidemiol*; 37:173-82.

Jiang J, Wolk A, Vessby B. 1999. relation between the intake of milk fat and occurrence of conjugated linoleic acid in human adipose tissue. *Am J Clin Nutr* ; 70 :21-7.

J-M. Chardigny, C. Malpuech-Brugere 2007 . *Nutrition Clinique et metabolism* 21 46-51.

K

Karabulut I. et Turan S. 2006. Some properties of margarines and shortenings marketed in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19 : 55-58.

L

L'Abbe, M. R. and Brown, 2006. S. TRANSforming the food supply-Report of the Trans Fat Task Force.

Lavillonnère F , Martin JC, Bougnoux P. 1998. Analysis of conjugated linoleic acids isomers and content in French cheeses. *J Am Oil Chem Soc* ; 75:343-52.

Lecerf J-M. 2009. Les acides gras du lait au-delà des clichés. . *Revue Litière Française* (688) :14-19

Ledoux Martial .2005 thèse doctorat (acide ruménique : présence dans le beurre et influence des procédés de fabrication ; incidence sur l'athérosclérose expérimentale chez le hamster).

Ledoux M, Chardigny JM, Darbois M. 2003. « Variations saisonnières des taux d'acides linoléiques conjugués dans les beurres français », *Science des Aliments*, 20(3) : 443-61.

Legrand P. 2009. Les acides gras. *Revue Litière Française* .(688) :14-19.

Lin H, Boylston T, Luedecke , Shultz T. 1995. Survey of the conjugated Linoleic Acid Contents of Dairy Products. *J dairy Sci*; 78:2358-65.

Lock Alec. 2005. The biology of trans fatty acids: Implications for human health and the dairy industry. *Aust J Dairy Technol* 2005;60:3-12.

M

Références bibliographiques

Matthew J., Albers M-J., Harnack L., Lyn M., Steffen L-M., David R. et Jacobs D-R. 2008. 2006 Marketplace survey of trans fatty acid content of margarines and butter, cookies and snack cakes, and savory snacks. *Journal of the American Dietetic Association*. 108 : 367-370.

Mensink R, Katan MB. 1990. Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. *N Engl J Med* 1990;323:439–45.

Michels K. et Sacks F. 1995. Trans fatty acids in European margarines. *The New England Journal Of Medicine*. 332(8) : 541-542.

Morin O. 2005. Acides gras trans : récents développements. *Communication Scientifiques et Technique. Direction Développement Iterg*.12(5-6) :414-421.

Mossoba M.M., Kramer J.K.G., Delmonte P., Yurawecz M.P., Rader J.I. 2003. Official methods for the determination of *trans* fat. AOCS Press, Champaign, Illinois.

Motard-Belanger A, Charest A, Grenier G. 2008. Study of the effect of trans fatty acids from ruminants on blood lipids and other risk factors for cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr*; 87:593-9.

Mozaffarian D, Willett WC. 2007. Trans fatty acids and cardiovascular risk: a unique cardiometabolic imprint? *Curr Atheroscler Rep*; 9:486-93.

N

Naudet M. 1992. Principaux constituants des corps gras. *In Manuels des Corps Gras*, vol. 1, Karleskind A., ed., Lavoisier Tec & Doc, Paris, pages 65 – 113.

Norris S. 2005. Les gras trans : Le fardeau pour le santé. *Library Bibliothèque of Parliament*. PRB 05-21F : 1-9.

O

Oh K, Hu FB, Manson JE, Stampfer M J, Willett WC. 2005. Dietary fat intake and risk of coronary heart disease in women: 20 years of follow-up of the nurses' health study. *Am J Epidemiol*; 161:672-9

Ohlrogge, J.B.,R.M. Gulley. 1982. “Occurrence of octadecenoic fatty acid isomers from hydrogenated fats in human tissue lipid classes.” *Lipids* 17(8): 551-7.

Références bibliographiques

Ollivon M et Perron R. 1992. Propriétés générale de la chaîne hydrocarbonée. In « Kaleskind » Manuel des corps gras. Tom 1 .Ed. Tec et Doc. Lavoisier, Paris :2-85206-662-9 :433-44.

Oomen CM, Ocke MC, Feskens EJ. 2001. Association between trans fatty acid intake and 10-year risk of coronary heart disease in the ZutphenElderly Study: a prospective population-based study. *Lancet* ;357: 746–51.

P

Parodi PW. 1994. Conjugated linoleic acid : an anticarcinogenic fatty acid present in milk fat. *Aust J Dairy Technol*; 49:93-7.

Parodi PW. 2004. Milk fat in human nutrition. *Aust J Dairy Technol*;59:3.

Percheron F., Perlés R. et Foglietti M-J. 1981. Abrégé de la biochimie générale. In « chromo protéides, glucides, lipides : oxydations biologiques, interrelations métaboliques ». Tome2.Ed. Masson, Paris : 442-469.

Precht D., Molkentin J. 1997a. Effect of feeding on *trans* positional isomers of octadecenoic acid in milk fats. *Milchwissenschaft*, 52, 564-568.

Precht D., Molkentin J. 1997b. *Trans*-geometrical and positional isomers of linoleic acid including conjugated linoleic acid (CLA) in German milk and vegetable fats. *Fett/Lipid*, 99, 319-326.

Perkins A.G., Smick C. 1987. Octadecatrienoic fatty acid isomers of partially hydrogenated soybean oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 64, 1150-1155.

Perron R. 1992. Propriétés physique des corps gras-acides gras. In « Kaleskind » Manuel des corps gras. Tom 1 .Ed. Tec et Doc. Lavoisier, Paris : 442-469.

Pietinen P, Ascherio A, Korhonen P. 1997. Intake of fatty acids and risk of coronary heart disease in a cohort of Finnish men. The Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study. *Am J Epidemiol* ;145:876–87.

R

Ratnayake W.M.N.,Pelletier G.,Hollywood R., Bacler S., Leyle D. 1998. *Trans* fatty acids in canadian margarines: Recent trends. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 75, 1587-1594.

Références bibliographiques

Ratnayake WM, L'Abbe MR, Farnworth S. 2009. Trans fatty acids: current contents in Canadian foods and estimated intake levels for the Canadian population. *J AOAC Int* ;92:1258-76.

Ratnayake WM, L'Abbe MR, Mozaffarian D. 2009. Nationwide product reformulations to reduce trans fatty acids in Canada: when trans fat goes out, what goes in? *Eur J Clin Nutr* ;63:808-11.

Razanamahefa L. 2005. Risques et bénéfices, pour le santé des acides gras trans apportés par les aliments : 17-83.

Richter E-K., Shawish K-A., Scheeder M. et Colombani P-C. 2009. Trans fatty acid content of selected Swiss foods: The Trans Swiss Pilot study. *Journal of Food Composition and Analysis.* 22: 479-484.

Riserus U, Berglund L, Vessby B. 2001. Conjugated linoleic acid (CLA) reduced abdominal adipose tissue in obese middle-aged men with signs of the metabolic syndrome: a randomised controlled trial. *Int. J. Obes. Relat. Metab Disord.* 25:1129-1135.

Riserus, U., S. Basu. 2002. “Supplementation with conjugated linoleic acid causes isomer-dependent oxidative stress and elevated C-reactive protein.” *Circulation* 106: 1925-1929.

Riserus, U., B. Vessby. 2004. “Supplementation with *trans*10 *cis*12-conjugated linoleic acid induces hyperproinsulinaemia in obese men: close association with impaired insulin sensitivity.” *Diabetologia* 47(6): 1016-9.

Ritzenthaler KL, Mcguire MK, Falen R. 2001. Estimation of conjugated linoleic acid intake by written dietary assessment methodologies underestimates actual intake evaluated by food duplicate methodology. *J Nutr* ; 131 : 1548-54.

Rocquelin, G., L. Guenot, et. 1985. “Fatty acid composition of human heart phospholipids: data from 53 biopsy specimens.” *J. Mol. Cell. Cardiol.* 17(8): 769-73.

Rocquelin, G., L. Guenot. 1989. “Phospholipid content and fatty acid composition of human heart.” *Lipids* 24(9): 775-80.

Rudich A, Kozlovsky N, Potashnik R, Bashan N . 1997. Oxidant stress reduces insulin responsiveness in 3T3-L1 adipocytes. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 272:E935-E940.

Références bibliographiques

- Schmitt B, Weill P, Legrand P, Kerhoas N, Daniel N, Ferry C. 2003.** Effects of two omega 3 naturally enriched diets on diabetic and anthropometric parameters of type 2 diabetics. *Diabete/ Metabolisma Research and Reviews*, Vol 19, issue 2, S1-S14
- Sébédio J.-L., Grandgirard A., Prevost J. 1988.** Linoleic acid isomers in heat treated sunflower oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 65, 362-366.
- Sébédio J.-L., Chardigny J.-M. 1998.** Biochemistry of *trans* polyunsaturated fatty acids. In *Trans fatty acids in human nutrition*, Sebedio J.-L., Christie W.W., eds., The Oily Press, Dundee, pages 191-215.
- Sébédio, J. L., S. H. Vermunt. 2000.** “The effect of dietary *trans* alpha-linolenic acid on plasma lipids and platelet fatty acid composition: the TransLinE study.” *Eur. J. Clin. Nutr.* 54(2): 104-13.
- Shantha NC ,Decker EA, Ustunol Z. 1992,** conjugated linoleic acid concentration in Processed Cheese. *J AM Oil Chem Soc* ; 69:425-8.
- Smedman A, Vessby B. 2001.** Conjugated linoleic acid supplementation in humans—metabolic effects. *Lipids* 36:773-781.

T

- Tekin A., Cizmeci M., karabacak H. et kayahan M. 2002.** Trans fatty acid and solid fat contents of margarines marketed in Turkey. *Journal of the American Oil Chemists’ Society.* 79(5): 443-445.
- Thijssen, M. A. M. A., Sebedio J. L. 2004.** Effects of *trans*-10, *cis*-12 (10*t*,12*c*) and *cis*9,*trans*11 (C9T11)CLA on the plasma fatty acid profile and expression of desaturases in humans. *ISSFAL 2004*, Brighton.
- Tirosh A, Potashnik R, Bashan N, Rudich A. 1999.** Oxidative Stress Disrupts Insulin-induced Cellular Redistribution of Insulin Receptor Substrate-1 and Phosphatidylinositol 3-Kinase in 3T3-L1 Adipocytes. A putative cellular mechanism for impaired protein kinase b activation and glut4 translocation. *J. Biol. Chem.* 274:10595-10602.
- Turpeinen, A. M., M. Mutanen. 2002.** “Bioconversion of vaccenic acid to conjugated linoleic acid in humans.” *Am. J. Clin. Nutr.* 76(3): 504-10.

U

Références bibliographiques

Ucciani E et Debal A. 1992. Propriétés physique des corps gras-réaction d'isomérisation. In « Kaleskind » Manuel des corps gras. Tom 1 .Ed. Tec et Doc. Lavoisier, Paris :317-331

W

Wagner K-H., Auer E. et Elmadfa I. 2000. Content of trans fatty acids in margarines, plant oils, fried products and chocolate spreads in Austria. *Food Res Technol.* 210: 237-241.

Willett WC, Stampfer MJ, Manson JE, et al. 1993. Intake of trans fatty acids and risk of coronary heart disease among women. *Lancet* ;341:581-5.

Wolff R.L., Sébédio J.-L. 1991. Geometrical isomers of linolenic acid in low-calories spreads marketed in France. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 68, 719-725.

Wolff R.L. 1993c. Further studies on artificial geometrical isomers of alpha-linolenic acid in edible linolenic acid-containing oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 70, 219-224.

Wolff R.L., Sébédio J.-L. 1994. Characterisation of gamma-linolenic acid geometrical isomers in borage oil subjected to heat treatments (deodorization). *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 71, 117-126.

Wolff R.L. 1995a. Ubiquité et caractéristiques des isomères *trans* de l'acide linoléique : une revue. *OCL*,2,391-400.

Woorrips LE, Brants H, Kardinaal AFM. 2002. Intake of Conjugated linoleic acid, fat, and other fatty acids in relation to postmenopausal breast cancer : the Netherlands Cohort Study on Diet and Cancer. *Am J Clin Nutr.*

Z

Zock PL. Katan M.B. 1997. Trans fatty acids, lipoproteins, and coronary risk. *Can J Physiol Pharmacol*;75:211-6.

Références bibliographiques

Annexe

Tableau I : Nomenclature des acides gras saturés

Symbole numérique	Structure chimique	Nom systématique	Nom trivial	Symbole
C4 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₂ -COOH	Acide butanoïque	Acide butyrique	But
C6 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₄ -COOH	Ac. hexanoïque	Ac. caproïque	Hex
C8 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₆ -COOH	Ac. octanoïque	Ac. caprilyque	Oct
C10 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₈ -COOH	Ac. décanoïque	Ac. caprique	Dec
C12 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₁₀ -COOH	Ac. dodécanoïque	Ac. laurique	Lau
C14 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₁₂ -COOH	Ac. tétradécanoïque	Ac. myristique	Myr
C16 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₁₄ -COOH	Ac. hexadécanoïque	Ac. palmitique	Pam
C18 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₁₆ -COOH	Ac. octadécanoïque	Ac. stéarique	Ste
C20 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₁₈ -COOH	Ac. icosanoïque	Ac. arachidique	Ach
C22 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₂₀ -COOH	Ac. docosanoïque	Ac. béhénique	Beh
C24 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₂₂ -COOH	Ac. tétracosanoïque	Ac. lignocérique	Lig
C26 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₂₄ -COOH	Ac. hexacosanoïque	Ac. cérotique	Crt
C28 :0	CH ₃ -(CH ₂) ₂₆ -COOH	Ac. octacosanoïque	Ac. montanique	Mon

Les noms caproïque, caprilyque et caprique sont abandonnés au profit du nom systématique.

Tableau II : Nomenclature des acides gras insaturés

Symbole numérique	Nom systématique	Nom trivial	Symbole
C16 :1	Acide 9-hexadécénoïque	Acide palmitoléique	Δ Pal
C18 :1	Ac. 9cis-octadénoïque	Ac. oléique	Ole
C18 :1	Ac. 9trans-octadécénoïque	Ac. elaïdique	Ela
C18 :1	Ac. 11-octadécénoïque	Ac. vaccénique	Vac
C18 :2	Ac. 9,12-octadécadiénoïque	Ac. linoléique	Lin
C18 :3	Ac. 9,12,15-octadécatriénoïque	Ac. linoléinique	α-Lnn
C18 :3	Ac. 6,9,12-octadécatriénoïque	Ac. linoléinique	δ-Lnn
C18 :3	Ac. 9,11,13- octadécatriénoïque	Ac. éléostéarique	e-Ste
C20 :2	Ac. 8,11-icosadiénoïque		Δ ₂ -Ach
C20 :3	Ac. 5,8,11-icosatriénoïque		Δ ₃ - Ach
C20 :4	Ac. 5,8,11,14-icosatétraénoïque	Ac. arachidonique	Δ ₄ - Ach
C24 :1	Ac. 15-tétracosénoïque	Ac. nervonique	Ber

Annexe

Tableau III : Composition en acides gras de quelques huiles végétales

Répartition de acides gras %	Huile						
	Arachide	Colza	Mais	Noix	Olive	Soja	Tournesol
C16 :0	8-13	1-5	8-13	8-6	8-14	8-13	5-7
C17 :0	<0.1	-	-	<0.1	<0.2	-	<0.1
C18 :0	3-4	1-2	1-4	1-3	3-6	2-5	4-6
C20 :0	1-2	<1	<1	<0.3	<0.5	<1.2	<1
C22 :0	2-4	<0.5	<0.5	<0.2	<0.9	<0.5	<1
C24 :0	1-2	-	-	-	-	-	-
Saturés totaux	15-25	2-8	10-18	7-11	13-22	12-20	11-15
C16 :1	<0.3	<1	<1	<0.2	1	<0.2	<0.4
C18 :1	48-66	55-62	24-32	14-12	61-80	17-26	15-25
C20 :1	1-2	1-2	<0.5	<0.3	<0.4	<0.4	<0.5
C22 :1	-	<1	-	-	-	-	-
Monoinsaturés totaux	49-68	56-65	25-33	14-12	62-81	18-27	16-26
C18 :2	14-28	18-22	55-62	54-65	3-14	50-62	62-70
C18 :3	<0.3	8-10	<2	9-15	<1	4-10	<0.2
Polyinsaturés totaux	14-28	26-32	57-64	63-80	4-5	54-72	62-70

Annexe

Tableau IV : Composition en acides gras de graisses animales

Répartition acides gras %	Nature de la matière grasse					
	Suif	Saindoux	Beurre	<i>Clupea harengus</i> Hareng	<i>Sardina pilchardus</i> Sardine	<i>Brvoortia Tyrannus</i> Menhaden
C4 :0	-	-	2,8 – 4,5	-	-	-
C5 :0	-	-	0,5 – 2,5	-	-	-
C6 :0	-	-	1,1 – 3	-	-	-
C8 :0	-	-	1 – 2,1	-	-	-
C10 :0	-	-	2,1 – 3,9	-	-	-
C12 :0	-	-	2,6 – 4,2	0,1	0,1	0,15
C14 :0	2,8 – 4	1,3 – 1,8	10,2 – 17,5	6,1	6,7	7,3
C15 :0	0,4 – 0,5	0 – 0,2	-	0,4	0,7	0,6
C16 :0	23 – 27	23 – 26	22,3 – 38,5	11,2	18,3	19,5
C17 :0	1 – 1,4	0,3 – 0,5	-	0,6	1	1,1
C18 :0	15,5 – 23	12,8 – 17,7	6,6 – 13,5	2,2	4,2	4,6
C19 :0	-	-	-	0,3	0,4	0,4
C20 :0	0,1 – 0,2	0 – 0,3	<0,5	0,1	0,4	0,4
C21 :0	-	-	-	0,1	0,1	0
C22 :0	-	-	-	0,15	0,2	0,2
C23 :0	-	-	-	0,1	0,1	0,1
C24 :0	-	-	-	0,2	0,1	0,2
Saturés totaux	45 - 36	37 – 45,5	49 - 86	21,5	32,3	34,55
C14 :1	0,5 – 1	Traces	-	-	-	-
C16 :1	2,3 – 4,2	1,4 – 3,7	1,9 – 2,6	7,3	6,2	9
C17 :1	-	0,2 – 0,4	-	0,3	0,3	-
C18 :1	36 – 43	39 – 45	39 – 45	10,3	13	13,2
C20 :1	0,1 – 0,6	0,5 – 1,3	<0,5	-	-	-
C22 :1	-	-	-	21,1	3,8	0,6
C24 :1	-	-	-	0,8	0,6	0,3
Monoinsaturés totaux	39 – 45	41 – 51	18 - 38	39,8	23,9	23,1
C16 :2	-	-	-	0,6	1,1	1,8
C16 :3	-	-	-	6,7	0,6	1,6
C16 :4	-	-	-	1,3	1,7	2,5
C18 :2	1,4 – 3,9	8,5 – 12	1,3 – 2,9	1	1,5	1,7
C18 :3	1,7	0,6 – 1,2	0,7 – 4,8	0,7 – 4,8	1,3	1,6
C18 :4	-	-	-	0,1	0,1	0,2
C20 :2	-	-	-	0,15	0,4	0,7
C20 :3	-	-	-	0,4	0,9	1
C20 :4	-	-	-	0,8	1,1	1,5
C20 :5*	-	-	-	7,4	11	11
C21 :5	-	-	-	0,2	0,5	0,6
C22 :2	-	-	-	0,2	0,1	0,2
C22 :3	-	-	-	-	0,2	0,1
C22 :4	-	-	-	0,3	0,7	0,5
C22 :5	-	-	-	0,8	1,3	1,9
C22 :6**	-	-	-	6,7	13	9,1
Polyinsaturés totaux	1,5 - 5	9 - 13	2 – 7,7	28,8	35,5	35,7

Annexe

Résumé

Les acides gras trans ont deux origines. La première est naturelle. Il s'agit de l'hydrogénation bactérienne qui existe dans le rumen des espèces animales concernées. La seconde origine est une origine technologique, par des transformations des huiles végétales en vue de la modification de leurs propriétés physicochimiques. Les acides gras trans d'origine technologique sont clairement associés à une augmentation du risque cardiovasculaire(MCV). En revanche, les effets des acides gras trans issus de la biohydrogénation ruminale sont encore mal connus, mais les données épidémiologiques suggèrent un effet plus neutre. Concernant les CLA, des résultats bénéfiques ont été décrits sur des modèles animaux (cancer, maladies cardiovasculaires, composition corporelle).

Mots clés : AGT, Biohydrogénation, transformations des huiles, risque MCV.

Abstract

Trans fatty acids have two major origins. The first one is natural; it is about a bacterial biohydrogenation, which takes place during digestion in ruminants. The second origin is industrial technologies, vegetable oil processing in order to modify physicochemical properties. Industrially produced trans fatty acids are clearly associated with an increase of cardiovascular risk. On the other hand, specific effects of rumen-derived trans fatty acids are less documented, but epidemiological data do not suggest strong adverse effects. Considering CLA isomers, beneficial results have been reported in animal models (cancer, cardiovascular risk, body composition).

Key words: TFA, Biohydrogenation, transformations of oils, risks MCV.