



Université Senghor

Université internationale de langue française
au service du développement africain

Opérateur direct de la Francophonie

Menace cachée des acides gras trans dans les aliments locaux non-transformés/ transformés au Bénin vs Tunisie et Egypte

présenté par

Nadège A.D.M.E. ZOGO

pour l'obtention du Master en Développement de l'Université Senghor

Département Santé

Spécialité Politiques Nutritionnelles

le 20 Mars 2013

Devant le jury composé de :

Dr. Christian Mésenge Président
Pr. Hélène Delisle Examineur
Pr. Alain Grymberg Examineur

Remerciements

Ce travail est le produit d'une récente collaboration entre l'unité de recherche de Biochimie de Monastir et l'université Senghor d'Alexandrie. J'exprime ma profonde gratitude au professeur Hammami qui m'a confié ce projet de master. Cela a été un plaisir pour moi de travailler à l'initiation à la recherche. Puisse ce mémoire vous satisfaire et vous exprimer ma gratitude pour vos encouragements et l'ambiance familiale par laquelle vous m'aviez accueilli. Toute ma reconnaissance à Docteur Christian Mésenge et au professeur Lassaad Hedhili, qui n'ont ménagé aucun effort pour me trouver mon stage au laboratoire de biochimie. Je ne les remercierai jamais assez pour leur disponibilité et leur soutien dans toutes les difficultés rencontrées lors de ce stage en Tunisie. Un particulier remerciement à tous les membres du laboratoire et tous ceux qui d'une certaine façon ont contribué à ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute reconnaissance.

Dédicaces A:

Mon père

Pour ton amour et ton dévouement infini qui ont été pour moi un gage de réussite. Ton soutien permanent, ta délicatesse, la noblesse de ton âme, ton honnêteté irréprochable et ton énergie sans faille reste un exemple. Tu n'as jamais cessé de me ressourcer dans les moments heureux et difficiles de ma vie en me rappelant que la volonté fait de grandes femmes. Trouve en ce travail la modeste réponse à tes sacrifices et mon amour profond pour toi.

Ma mère

Tu as su attendre avec patience le fruit de ta meilleure éducation. Je te dédie ce travail pour ton amour obsessionnel et tous tes sacrifices consentis. N'oublie jamais que même à des kilomètres, pas un instant ne passe sans que je ne pense à toi. Dieu t'accorde une longue vie afin de profiter de tes enfants et petits enfants.

A mes frères, sœurs, cousin(e)s et nièces

Ce travail témoigne pour vous mon profond amour et ma fierté d'être des vôtres.

A mes grands-parents

Vous auriez été fiers de votre petite fille. Ce travail, je le dédie à votre mémoire.

A mes ami(e)s

Pour toutes celles qui, je ne doute une seule seconde aurait été heureuse de ce travail, si la vie leur avait donné plus de temps. A Aline, Annifath, Armelle, Madina, Dieu ait votre âme et protège vos enfants. Pour tous mes autres ami(e)s et surtout ceux de l'université Senghor, que ce travail aille en reconnaissance des moments particuliers que nous avons partagé ensemble.

Résumé

Liée à la nutrition, l'explosion des maladies non transmissibles est en rapide croissance dans les pays en développement. Les acides gras trans (AGT) sont parmi les premiers macronutriments majeurs incriminés dans ce contexte épidémiologique. Il paraît nécessaire de mettre une loupe sur les assiettes pour appréhender la qualité des aliments. Une table de composition s'avère primordiale afin d'étayer les principaux saturés, monoinsaturés, polyinsaturés et AGT souvent présents dans l'alimentation. Dans cette étude, dix échantillons d'huile de palme (PLM-BEN) (n = 1), d'huile d'olive (OLV-TUN) (n = 1), d'arachide (ARA-BEN, ARA-TUN) (n = 2), de sésame (SSM-BEN) (n = 1), de chamia (CHM-TUN) (n = 1), de fromage (FMG-BEN, FMG-TUN) (n = 2) et d'arômes *Knorr-poulet* (KNR-EGY, KNR-TUN) (n = 2) ont été analysés entre Mai 2012 et Août 2012 à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse muni d'un détecteur à ionisation de flamme et d'une colonne capillaire. Les AGT sont répartis dans les échantillons entre 0.16 % et 1.83%. AGT (> 1%) ont été détectés dans trois (30%) des échantillons. Les produits laitiers présentaient la catégorie d'AGT la plus élevée: FMG-BEN (1.83%), FMG-TUN (1.75%) suivi d'ARA-TUN (1.09 %). Les AGT majoritaires sont les C18: 2 et C18: 1. D'une teneur trois fois plus élevée que le C8 : 1, 11t, le C18: 2, 9t, 12t était l'AGT majoritaire du fromage (FMG-BEN). Les disparités observées entre les échantillons seraient imputables au mode de cuisson et aux conditions de stockage des différents aliments.

Les AGT sont à des niveaux élevés dans les aliments par rapport aux recommandations. Cette étude initiale montre la pertinence d'une table de composition des aliments au Bénin.

Mot-clefs

AGT, Table de composition des aliments, Nutrition, Maladies non transmissibles

Auteur: ZOGO A.D.M.E.Nadège

Abstract

Related to nutrition non-communicable diseases are rising quickly in developing countries. Trans Fatty Acids are among the first major macronutrients implicated in this epidemiological context. It seems necessary to put a magnifying glass on the plates to capture food quality. A composition table is essential to underpin the main saturated, monounsaturated, polyunsaturated and AGT often present in edible food. In this study, ten samples of palm oil (PLM-BEN) (n = 1), olive oil (OLV-TUN) (n = 1), peanut (BEN-ARA, ARA -TUN) (n = 2), sesame (SSM-BEN) (n = 1), chamia (CHM-TUN) (n = 1), cheese (FMG-BEN, FMG-TUN) (n = 2) and Knorr-chicken flavors (KNR-EGY, KNR-TUN) (n = 2) were analyzed between May 2012 and August 2012 using a gas chromatograph (GC) with a flame ionization detector (FID) and a capillary column. TFA are distributed in the samples between 0.16% and 1.83%. TFA (> 1%) were detected in three (30%) samples. Dairy products category represented the highest AGT: FMG-BEN (1.83%), FMG-TUN (1.75%) followed by ARA-TUN (1.09%). TFA majority are C18: 2 and C18: 1 in most samples. Containing three times higher than the C8: 1, 11t (vaccenic acid), C18: 2, 9t, 12t was TFA majority cheese (FMG BEN). Disparities between samples are due to the mode of cooking and storage conditions of different foods. Related to recommendations, TFA is found are at high levels in foods. This initial study shows the relevance of food composition table in Benin diet.

Key-words

Trans Fatty Acids, Food composition, Nutrition, Non Communicable Diseases

Author: ZOGO A.D.M.E.Nadège

Liste des acronymes et abréviations utilisés

- AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
- AGT : Acide Gras Trans
- ARA-BEN: Arachide-Bénin
- ARA-TUN: Arachide-Tunisie
- CETP : Protéine de Transfert des Esters de Cholestérol
- CHM-TUN: Chamia-Tunisie
- CLA : Acides Linoléiques Conjugués
- CPG : Chromatographie en phase gazeuse
- CPG-SM : Chromatographie phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse
- FDA : Food and Drug Administration
- FID : Détecteur à Ionisation de Flamme
- FMG-BEN: Fromage-Bénin
- FMG-TUN: Fromage-Tunisie
- HDL : High density lipoproteins
- HVPH : Huile Végétale Partiellement Hydrogénée
- KNR-EGY: Knorr-Egypte
- KNR-TUN: Knorr-Tunisie
- MA : Maladie d'Alzheimer
- MCD : Maladies Chroniques Dégénératives
- MCV: Maladies Cardio-vasculaires
- OLV-TUN: Olive-Tunisie
- PLM-BEN: Palme-Bénin
- PPAR : Peroxyme Proliferator-Activated Receptor
- SSE : Statut Socio-économique
- SSM-BEN: Sésame-Bénin
- TVA : Trans Acide Vaccénique
- VLDL: Very low density lipoproteins

Table des matières

Menace cachée des acides gras trans dans les aliments locaux non-transformés/ transformés au Bénin vs Tunisie et Egypte	i
Remerciements	i
Dédicaces A:	ii
Résumé	iii
Mot-clefs	iii
Abstract	iv
Key-words.....	iv
Liste des acronymes et abréviations utilisés.....	v
Introduction.....	9
1 Problématique.....	11
1.1 La transition nutritionnelle	11
1.1.1 Mondialisation et urbanisation: Piliers de la transition nutritionnelle	11
1.1.2 Transition nutritionnelle : une dimension de la transition démographique/épidémiologique...	12
1.1.3 Population béninoise et la transition nutritionnelle	14
1.2 AGT et Maladies	14
1.2.1 AGT et MCV	14
1.2.2 AGT et diabète de type 2/obésité.....	15
1.2.3 AGT et Maladie d'Alzheimer	16
1.2.4 AGT et Cancer.....	16
1.2.5 AGT et Croissance/développement	17
1.2.6 Les AGT et l'infertilité.....	18
1.2.7 AGT et autres maladies	19
2 Revue de littérature.....	20
2.1 Définition des AGT	20
2.1.1 Nomenclature des AGT	20
2.1.2 Isomérisation des acides gras	21
2.2 Définition proprement dite des AGT	22
2.2.1 Définition en chimie organique.....	22
2.2.2 Réglementation de la teneur des aliments en AGT.....	22

2.3	Origine des AGT	23
2.3.1	Hydrogénation catalytique partielle	24
2.3.2	Biohydrogénation ruminale	25
2.3.3	Traitements thermiques	25
2.4	Propriétés physico-chimiques des AGT	26
2.5	Composition des aliments en AGT	26
2.5.1	Principaux aliments contenant des AGT	26
2.6	Mécanismes d'action des AGT	27
3	Matériels et Méthodes	28
3.1	Laboratoire de recherche	28
3.2	Matériels de laboratoire	29
3.3	Produits chimiques et standards	29
3.4	Prélèvement des échantillons	30
3.5	Préparation et traitement des échantillons	31
3.6	Méthodes d'analyse	31
3.6.1	Extraction des lipides	31
3.6.2	Préparation des esters méthyliques des acides gras	32
3.6.3	Analyse des acides gras des échantillons par CPG	32
3.6.4	Analyse des acides gras des échantillons par couplage CPG-SM	34
3.7	Analyse statistique	36
4	Résultats	37
4.1	Composition générale des aliments en acides gras	37
4.2	Composition en AGT par 100 g d'aliments consommés	39
4.2.1	Aliments provenant du Bénin	40
4.2.2	Composition en AGT des huiles de palme et arachide	41
4.2.3	Aliments industriels	42
4.3	Effet du traitement thermique dans la genèse des AGT	43
4.3.1	Effet de la chaleur sur l'huile de palme	43
4.3.2	Comparaison entre produit traditionnel et industrielle (FRO-BEN et FRO-TUN)	44
5	Discussion	45
5.1	Composition des aliments	45
5.2	Effet de la chaleur sur l'huile de palme	46
5.3	Comparaison entre produit traditionnel et industriel (FRO-BEN et FRO-TUN)	46

Conclusion et recommandations.....	48
Références bibliographiques	49
6 Liste des illustrations.....	53
7 Liste des tableaux	53
8 Annexes.....	54
8.1 Annexe 1 : Profil chromatographique des esters méthyliques d'acides gras de KNR-TUN.....	54
8.2 Annexe 2 : Profil chromatographique des esters méthyliques d'acides gras de KNREGY.....	55

Introduction

Liée à la nutrition, l'explosion des maladies non transmissibles est en rapide croissance dans les pays en développement [1,2]. Les acides gras trans (AGT) sont parmi les premiers macronutriments majeurs incriminés dans ce contexte épidémiologique. Ces acides gras forment l'ensemble de tous les acides gras insaturés possédant une ou plusieurs doubles liaisons non conjuguées, dans une configuration géométrique trans [3]. Leur consommation, cause associée au développement des maladies cardiovasculaires (MCV) a fait l'objet de nombreuses études épidémiologiques conduisant à une campagne mondiale d'élimination de leur teneur dans l'approvisionnement alimentaire [4]. Premier responsable de la présence des AGT dans l'alimentation en raison de la haute température utilisée au cours de la procédure de désodorisation des huiles végétales, l'industrie agroalimentaire a accru ses efforts en vue de leur réduction, en particulier dans les aliments transformés [3,5]. Cependant, la gestion du risque domestique dans la genèse des AGT demeure une véritable préoccupation vue la mauvaise maîtrise des conditions de préparation. En effet, de très hautes températures allant de 150° à 200° sont régulièrement appliquées lors des cuissons ménagères surtout lors de la friture des aliments [6]. Technique culinaire la plus utilisée dans le monde en vue de l'amélioration des propriétés sanitaires et gustatives des aliments [6], la friture des aliments est très appréciée au Bénin. Les plats qui y sont consommés s'accompagnent souvent d'une sauce épicée dans laquelle, se retrouvent des ingrédients tels que : le sésame, l'huile d'arachide ou huile de palme rouge [7], poissons, viandes et fromage frits. La plupart de ces aliments contient à la base une très faible proportion voire inexistante d'AGT. Mais lors de l'hydrogénation partielle de l'huile au cours de la friture, une partie des acides gras cis (AG cis), naturellement présents dans les aliments se convertit en isomères trans [6]. Les AGT polyinsaturés ou monoènes cycliques d'AGT vont se retrouver dans l'alimentation humaine comme conséquence de traitement thermique de matières grasses et des huiles [3]. A cela s'ajoute le cycle de réutilisation des huiles de friture souvent observée dans l'alimentation de rue (beignets, ignames, patates frits...) pouvant être une cause notoire d'augmentation des AGT.

Pour mieux appréhender la qualité vie dans ce contexte épidémiologique, les apports moyens en AGT ont été révisés par l'OMS à un taux inférieur à 1 % de l'apport énergétique total [6]. Cela suggère des tables de composition détaillées des aliments. La composition en acides gras saturé, mono-insaturés et polyinsaturés les plus abondants dans l'alimentation, est disponible pour de nombreux aliments dans de nombreux pays [8]. Mais ces données, au Bénin comme dans la plupart des pays en développement, sont souvent obsolètes à cause des activités de composition des aliments mal coordonnées [7]. Il en demeure une connaissance insuffisante sur le profil des acides gras de nombreux aliments habituellement consommés dans ces pays. La présente étude tente de combler cette lacune d'une part. D'autre part cette étude permet de voir si la nature et la quantité d'AGT consommés varient d'un pays à un autre. Pour ce

faire dix échantillons d'aliments en occurrence l'arachide, le sésame, le fromage, l'huile d'olive, de palme et aromes « *Knorr* » fréquemment consommés au Bénin, en Tunisie et en Egypte ont été explorés. Le plan de ce travail va s'articuler autour des points suivants : Problématique, Objectif de l'étude, Matériels- Méthode, Résultats et Discussion. Quelques recommandations seraient certainement formulées.

1 Problématique

1.1 La transition nutritionnelle

L'une des premières observations de la relation nutrition-longévité a été l'effet bénéfique de la réduction de l'apport énergétique, sans dénutrition [9]. En revanche, la transition nutritionnelle en cours, va se traduire par le passage d'une alimentation singulière, riche en amidon, fibres, activité physique à une alimentation plus diversifiée riche en sucres, en graisses animales saturées et en aliments industriels [2]. Bien que les changements dans les habitudes alimentaires au fil du temps aient fait partie de l'histoire de l'homme [1], la transition nutritionnelle qui touche les pays en développement n'est pas similaire à celle qui a précédé dans les pays industrialisés. Elle s'installe à un moment de leur développement, poussée par les forces puissantes de la mondialisation et de l'urbanisation [2].

1.1.1 Mondialisation et urbanisation: Piliers de la transition nutritionnelle

Fruit des grands changements économiques et sociaux des pays en développement, la transition nutritionnelle débute typiquement par la transposition de l'effort physique aux automates [10]. Bien que les preuves ne soient pas suffisantes pour relier la réduction de la dépense énergétique quotidienne à la vie urbaine, la forte association entre ces deux paramètres n'est plus à nier [10]. Par ailleurs la consommation¹ en matière grasse ne cesse de croître en raison leur forte disponibilité sur le marché mondial (figure 1). Une étude a montré qu'entre 1975-2005, l'apport en graisses a augmenté chez les femmes africaines urbaines d'environ 21% à 30% de l'énergie totale [2]. Cause à effet sans doute, l'offre et la demande vont accélérer l'augmentation de la production^{2,3} mondiale d'huile végétale, l'évolution des technologies alimentaires, le développement des supermarchés et la restauration rapide (figure 2). L'urbanisation, vecteur de la mondialisation est le principal moteur de l'évolution des styles alimentaires [10].

¹ Jank MS. Soybeans. Expansion of production, consumption and trade barriers. Presented at the 2nd Round Table on Responsible Soy, Assuncion, Paraguay. 2006.

² Drummond L. Deep Frying in New Zealand – A Review and Technology Update. National Heart Foundation of New Zealand's Food and Nutrition Working Group, Auckland, New Zealand. 2005.

³ Gunstone FD. Production and trade of vegetable oils. In: *Vegetable Oils in Food Technology* (ed. Gunstone. FD). CRC Press, Oxford. 2002; 1–17.

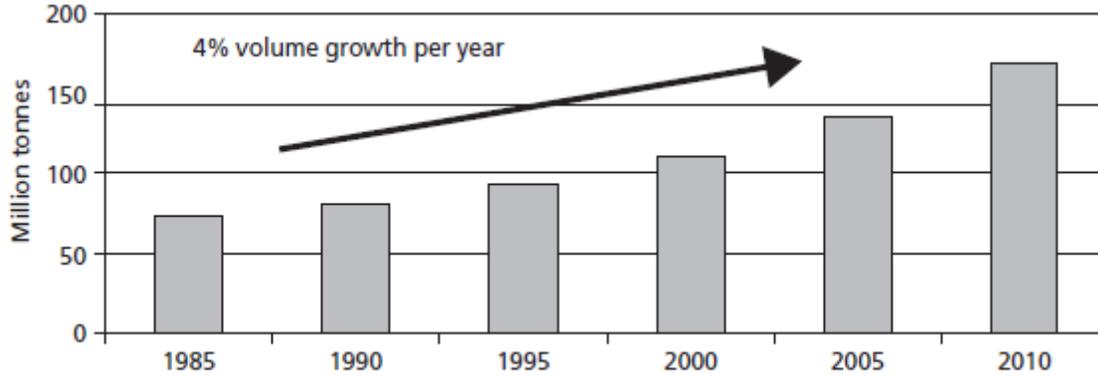


Figure 1 : Evolution mondiale de la consommation des huiles végétales. (Jank, 2006)

Selon les estimations des Nations Unies pour les pays en développement, la population urbaine va s'accroître de 87% dans les deux décennies prochaines [10]. Toutefois dans ces pays, le schéma de l'urbanisation ne semble pas se substituer à celui des pays développés. Les conditions d'extrême pauvreté semblent être à l'origine de ce flux vers les grandes villes où sévit l'alimentation de rue avec une qualité nutritionnelle/hygiénique sous-optimale. Mais le manque de temps et le faible statut socio-économique (SSE) encourage cette consommation par les citoyens. Ce tableau alimentaire, propice à l'explosion des maladies métaboliques, va se faire selon trois processus de transition distincts : nutritionnelle, démographique et épidémiologique [1].

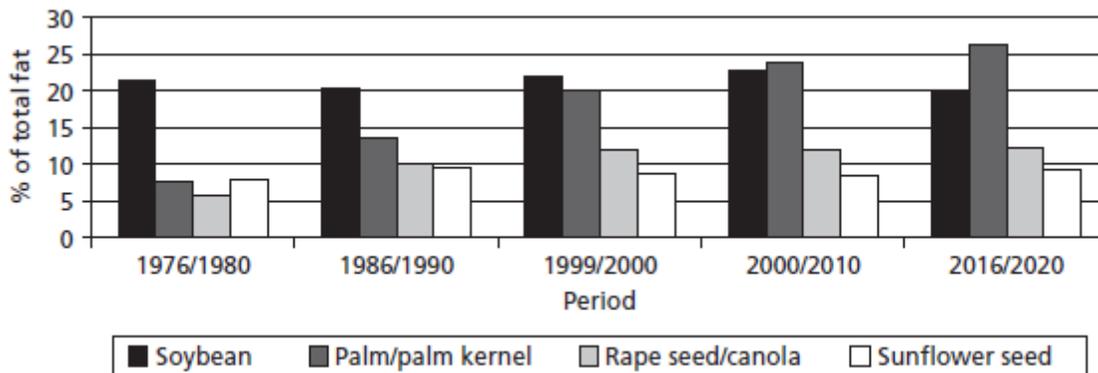


Figure 2 : Evolution de la production mondiale des huiles (Drummond, 2005; Gunstone, 2002)

1.1.2 Transition nutritionnelle : une dimension de la transition démographique/épidémiologique

La transition nutritionnelle est un processus qui lie la transition démographique à la transition épidémiologique (figure 3) [11]. La transition démographique fait référence à un changement d'une période de fertilité et de mortalité à un faible taux de fécondité et de mortalité qui se produit à la suite d'une

augmentation du statut socio-économique [1]. La transition épidémiologique désigne par contre le changement d'un tableau dominé par les maladies transmissibles à un tableau où prédominent les maladies chroniques non transmissibles [1]. Cette évolution avait été anticipée à partir de fondements basés sur la reconnaissance des facteurs de risque des MCD et les progrès de la prévention puis de la thérapeutique [9]. Au su des prédictions de Fries, presque personne ne devrait mourir avant l'âge de 70 ans et personne ne devrait survivre au-delà de l'âge de 100 ans. Dans les pays en développement, la transition démographique a débuté au cours de la deuxième moitié du XXème siècle. Ce phénomène récent, datant de moins d'une génération; est en outre extrêmement rapide et touche de plein fouet des populations qui en sont aux premiers stades de la transition démographique.

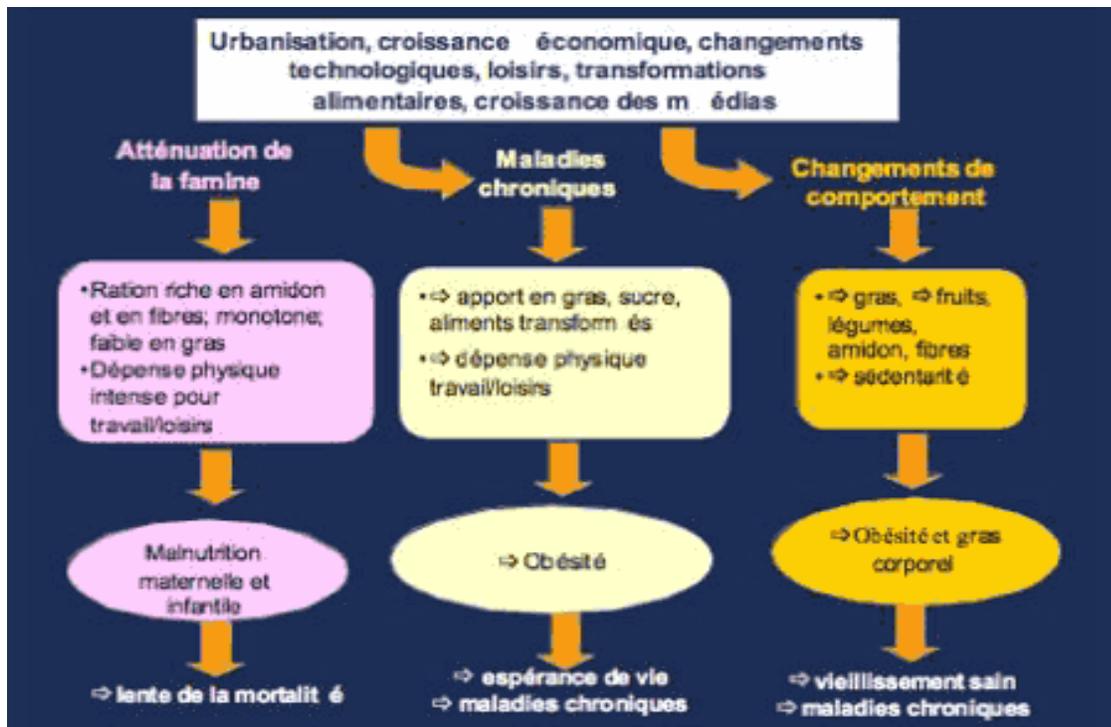


Figure 3 : Stades de la transition nutritionnelle [11]

Il revête cependant de savoir que sur le continuum de la transition, toutes les populations n'évoluent pas au même rythme et n'en sont donc pas au même point. Les zones rurales et urbaines à l'intérieur d'un même pays peuvent être à différents stades de la transition [1].

1.1.3 Population béninoise et la transition nutritionnelle

Une augmentation de la prévalence des maladies cardiovasculaires et du diabète a été observée en Afrique sub-saharienne, en particulier dans les villes [12]. L'alimentation est l'un des facteurs de style de vie, [13] qui peuvent prévenir ou augmenter le risque de plusieurs maladies chroniques, mais il est celui qui est souvent négligé. Liées à la nutrition des maladies chroniques, principalement le diabète et les MCV ont été jugées prioritaires par l'OMS [13].

Une étude menée au Bénin a permis d'examiner le rôle médiateur de la transition nutritionnelle grâce à une triangulation des données relatives au niveau d'urbanisation, SSE et aux marqueurs de risque cardiométabolique. Cette étude a montré qu'un stade plus avancé de la transition nutritionnelle s'observait dans la grande ville par rapport aux emplacements les moins urbanisées [12].

Les habitudes alimentaires ne semblent pas encore être très occidentalisées, à Cotonou voire au Bénin [14]. La transition nutritionnelle y est en cours et le risque de maladie cardio-vasculaire pourrait être sensiblement réduit par la promotion de l'activité physique et la réhabilitation d'une alimentation plus améliorée et diversifiée [15].

La relation alimentation-maladie indexe comme cause de morbi-mortalité, l'augmentation de l'indice de masse corporelle, le diabète, les MCV, cancer, santé dentaire et l'ostéoporose [9].

1.2 AGT et Maladies

La consommation des AGT est définie comme une condition associée à une augmentation de l'incidence des MCV et neurodégénératives tel que la maladie de Parkinson, et d'Alzheimer.

1.2.1 AGT et MCV

L'apport en AGT a été démontré sur la base d'études épidémiologiques et cliniques, comme une preuve incontestable associée à un risque de MCV. L'AGT augmente la concentration des lipoprotéines de basse densité (C-LDL) et la diminution de la concentration des lipoprotéines de haute densité (C-HDL), qui sont tous deux des facteurs de risque de maladie coronarienne, ce qui n'est pas le cas avec les AGS [16,17] Une substitution AGT/acide stéarique diminue ou non le C-LDL, augmente ou non le C-HDL voire le ratio CT/C-HDL [18]. Des études d'interventions nutritionnelles ont montré que toute augmentation de 1 % de la consommation en AGT (18 : 1 trans) aux dépens des glucides pouvait entraîner un accroissement du C-LDL et une diminution de C-HDL [17]. Une consommation d'AGT à hauteur de 2 % de l'apport énergétique total augmente le risque cardiovasculaire de 23 % [16]. Une étude a rapporté qu'une consommation de 5 g d'AGT par jour est associée à une augmentation de 25% dans le risque de maladie cardiaque ischémique [19]. Les AGT d'origine naturelle semblent présenter des effets moins néfastes que ceux d'origine

technologique [16]. Il a été rapporté que contrairement aux femmes où l'AGT C18:1 est associé à la cardiopathie, chez les hommes c'est l'isomère C18:2 [20]. Il est facilement admissible que les AGT d'origine animal aient des effets délétères en fonction du genre car les C18:1 y sont majoritaires [21]. Les graisses industrielles et celles provenant des ruminants contiennent des espèces similaires d'AGT, mais à des proportions différentes. Néanmoins tous augmentent le ratio LDL/HDL et sont donc positivement liés aux MCV [21].

1.2.2 AGT et diabète de type 2/obésité

L'association entre l'obésité et le diabète de type 2 est largement reconnue. Une dizaine d'années plutôt, l'altération métabolique des tissus musculaires ou hépatiques a été annoncée comme une conséquence de l'accumulation intra tissulaire de lipides entraînant notablement la diminution de la sensibilité à l'insuline. [22]. Une infiltration accrue de lipides au sein du tissu musculaire serait responsable d'une inhibition de la voie intracellulaire permettant la signalisation de l'insuline et, par conséquent, l'altération de la captation tissulaire du glucose. Toutefois une réduction de la masse grasse corporelle n'améliore pas systématiquement le statut diabétique. Les acides C18 :9c-11t et C18 :10t, 12c bien qu'impliqués dans la réduction de la surcharge pondérale, induisent une insulino-résistance chez des personnes obèses menant au diabète [23]. Le fonctionnement du foie et du pancréas seraient également altérés par un excès d'acides gras, ce qui conduirait à l'installation du diabète [22]. D'autre part, les macronutriments alimentaires affectent profondément l'adiposité et l'action de l'insuline, et contribuent ainsi à des maladies métaboliques. L'apport en AGT dans des essais a entraîné une augmentation des marqueurs de résistance à l'insuline au-delà de ceux observés avec les régimes enrichis en acides gras saturés ou acides gras monoinsaturés [24]. En effet, la configuration spatiale de ces acides leur confère des propriétés de sorte que les doubles liaisons trans maintiennent à la chaîne carbonée insaturée la linéarité des acides gras saturés ; ce qui provoque les stimuli prononcés par rapport à l'insuline [16]. Par ailleurs, cette même étude a démontré que les acides gras cis contrairement aux AGT ont la capacité de réduire l'oxydation du glucose dans les cellules bêta des îlots de Langerhans du pancréas, d'où l'insulino-résistance induite, et le risque de diabète de type 2 des AGT. La réduction du risque de survenue du diabète suggère donc une substitution des AGT par des acides gras polyinsaturés [3]. L'isomère C18 :10t, 12c provoque une augmentation de l'insulinémie et/ou une insulino-résistance sans modification de la glycémie [23].

Une récente étude a fourni une preuve supplémentaire épidémiologique selon laquelle l'incidence du diabète de type 2 pourrait être réduite de plus de 40% si les lipides étaient consommés sous forme non hydrogénée [3].

1.2.3 AGT et Maladie d'Alzheimer

La maladie d'Alzheimer (MA) est un trouble neurodégénératif, dévastateur, qui affecte actuellement plus de 35 millions de personnes à travers le monde [25]. Le risque de développer la MA est influencé par plusieurs facteurs environnementaux, y compris les habitudes alimentaires. Plus récemment la consommation d'AGT a été associée au risque de pathologie d'Alzheimer [26]. Une équipe de chercheurs suite à une longue étude est arrivée à la conclusion qu'une alimentation trop riche en AGT a été associée à un déclin cognitif, en particulier lorsqu'ils sont consommés en synergie avec le cuivre [27].

En général les acides gras (AGT) peuvent s'incorporer dans les phospholipides, entraînant des modifications des propriétés de la membrane cellulaire, ce qui affecte les processus biochimiques et les fonctions cellulaires [28]. L'une des caractéristiques de la pathologie d'Alzheimer est la libération séquentielle d'agrégats de bêta-amyloïde (A β) grâce à la protéolyse de la protéine précurseur d'amyloïde (APP) au niveau des plaques séniles extracellulaires [29]. Mais l'accumulation de ces acides va induire le changement des composants lipidiques des membranes cellulaires, comme le cholestérol, sphingomyéline et les gangliosides, influent ainsi sur la production d'agrégats d'A β . Une étude a rapporté une accumulation de l'APP intracellulaire en présence de l'acide trans élaïdique et CLA [25]. Cette étude a également démontré que la formation d'agrégat d'A β est élevée dans les cellules exposées aux AGT. En effet, la quantité d'agrégats d'A β était supérieur dans les cellules traitées à la fois pour l'acide élaïdique et CLA que celles traitées par l'acide oléique cis et l'acide linoléique. La pathogénéicité des AGT dans la MA demeure ambiguë, bien que ces acides s'accumulent dans le cerveau entraînant des modifications des acides gras du cerveau [26].

1.2.4 AGT et Cancer

Les études se sont beaucoup intéressées à la relation entre la consommation de matières grasses et les cancers du sein, du côlon, du rectum et la prostate. Les résultats des études jusque là restent contradictoires allant de la diminution de risque à l'augmentation du risque de cancer. Au travers d'études sur différents modèles expérimentaux et humains, il reste difficile d'évaluer si l'association entre certains isomères d'AGT et certains polymorphismes génétiques peut augmenter le risque de cancer de la prostate, du côlon ou du sein [23].

AGT et Cancer du sein

Plusieurs études prospectives et cas-témoins ont été effectuées afin d'établir un lien statistique entre la présence des AGT dans les tissus adipeux et la survenue du cancer du sein. La plupart des études se sont soldées par des résultats de rejet d'association [3]. En revanche, certains acides comme les c9, t11-CLA ou les t10, c12-CLA ont montré des effets protecteurs du cancer, sur des modèles murins génétiquement

modifiés [30]. Par ailleurs, une récente investigation néerlandaise sur le sujet a trouvé un lien (RR : 1,30 (IC 0,93-1,80 $p < 0,01$) entre les apports en AGT et l'incidence du cancer du sein [31]. Une autre étude a été menée dans cinq centres d'études répartis sur cinq pays : Allemagne, Espagne, Royaume-Uni, Pays-Bas et Suisse réalisant une première approche transculturelle chez 358 femmes ménopausées âgées de 50 à 74 ans. Dans un premier temps, cette étude a recherché l'existence ou non une relation entre les AGT du tissu adipeux sous-cutané périphérique et le risque de cancer du sein. Une corrélation positive significative a été mise en évidence, entre la teneur en AGT du tissu adipeux et le risque de développer un cancer du sein. Une deuxième approche auprès de cette même population a été réalisée avec une étude cas-témoin chez 698 femmes ménopausées âgées de 50 à 74 ans. On y retrouve 291 femmes chez qui une tumeur mammaire a été récemment diagnostiquée, sans métastase, et 407 femmes témoins, n'ayant jamais eu de cancer du sein. Les femmes ayant un cancer du sein ont 1,46 fois plus d'AGT dans leur tissu adipeux périphérique que les femmes témoins ($p < 0,001$), avec une relation d'autant plus significative qu'il s'agit du sous-groupe ayant le plus faible statut nutritionnel en acide linoléique. La plupart de ces études aboutissent à des résultats très discutables. Cela suggère de nouvelles investigations avant la confirmation d'un lien statistique éventuel entre les AGT et le cancer. En attendant l'incitation à la prudence reste en vigueur.

AGT et Cancer du côlon

Le côlon est l'un des sites privilégiés chez l'homme pour le développement d'un cancer. Les facteurs environnementaux, tels que l'alimentation et en particulier le déficit en fibres alimentaires et en végétaux, sont depuis longtemps reconnus comme des facteurs favorisant potentiels du cancer du côlon [31]. Aux États-Unis, au XXe siècle, l'augmentation de la consommation des huiles végétales partiellement hydrogénées (HVPH) a été parallèle à l'augmentation de la fréquence du cancer du côlon [31]. Une étude exposés/non exposés chez le rat a montré une relation entre les AGT et le cancer du côlon avec l'incidence du cancer qui est presque deux fois plus élevé lorsqu'il s'agit des AGT que les acides gras cis. Toutefois, la plupart des études sur la relation cancer de côlon et AGT restent controversées [23]. Il faut rappeler que les conditions d'expositions varient d'un auteur à un autre et cela demeure peu concluant.

1.2.5 AGT et Croissance/développement

Les AGT peuvent être transférés aussi bien dans le lait maternel que de la mère au fœtus [23,32]. Ainsi l'exposition d'une grossesse à un apport fréquent voire élevé en AGT est inversement corrélée à la teneur en AGT de tissus fœtaux [23] et peuvent avoir des effets néfastes sur le développement et la croissance fœtal(e), voire la perte du fœtus. Une récente étude a apporté un soutien supplémentaire à la théorie que les AGT affectent le poids au début la croissance néonatale et à la naissance, ce qui est en accord avec les observations chez les nourrissons dont les concentrations plasmatiques en AGT présentaient une

association inverse significative avec le poids corporel au sein de la première semaine de vie [32]. Par conséquent, la forte concentration d'AGT chez les nouveau-nés a entraîné la réduction de la concentration des longues chaînes d'acides gras polyinsaturés, qui sont importants pour la croissance fœtale et le développement du système nerveux central [3]. Par ailleurs, cette étude a été la première à aborder spécifiquement la question des effets persistants des AGT alimentaires industriels, sur la croissance néonatale, la composition corporelle et du métabolisme du glucose, lorsqu'ils sont fournis in utero et par le lait maternel. Elle en vient à conclure que bien que l'exposition de la grossesse aux AGT affecte la croissance néonatale, elle ne conditionne pas la prédisposition à développer une obésité ou une insulino-résistance à l'âge adulte. En revanche une étude plus récente a montré que l'apport d'HVPH par les mères pendant la grossesse et l'allaitement ont conduit à une inflammation de l'hypothalamus et une déficience de la détection satiété chez la progéniture ; ce qui engendrait des conséquences néfastes tels que l'obésité [33].

1.2.6 Les AGT et l'infertilité

Infertilité féminine

L'infertilité ; incapacité de concevoir après 12 mois de rapports sexuels non protégés demeure un problème courant qui affecte 10 - 15% des couples [24]. Les preuves scientifiques suggèrent que les facteurs alimentaires tels qu'une surcharge pondérale et un manque d'exercice physique affectent profondément la sensibilité à l'insuline et peuvent aggraver le risque d'infertilité. Les essais cliniques de sensibilisation à l'insuline, et d'activation du PPAR (*peroxyme proliferator-activated receptor*) ont montré une amélioration de la fonction ovulatoire chez les femmes atteintes du syndrome des ovaires polykystiques. Or les acides gras insaturés pourraient se lier spécifiquement au PPAR prépondérant dans l'homéostasie et la transcription de gènes codant pour les transporteurs de la famille ABC (*ATP binding cassette*) empêchant la manifestation de cette fonction ovulatoire [16]. Ainsi, l'apport en AGT (communément trouvées dans les produits frits et cuits au four dans le commerce) majorerait ce risque accru d'infertilité anovulatoire [24].

Infertilité masculine

Le domaine d'étude relative à la consommation d'AGT et l'infertilité masculine n'est pas très exploré par la science. Cependant entre Septembre 2008 et Février 2009, une étude a été réalisée sur 33 échantillons de sperme chez des hommes qui se présentaient pour l'évaluation de l'infertilité dans un hôpital général de Centre de fertilité au Massachusetts [34]. A l'issue des analyses une relation entre l'apport élevé en AGT et la réduction de la concentration du sperme a été énumérée. Toutefois cette étude ne permet pas spécifier les niveaux d'ingestion alimentaire nécessaires d'AGT nécessaire pour atteindre cette réduction, ni la synchronisation entre l'apport et les effets éventuels sur la spermatogenèse [34]. Par ailleurs, les études

sur des modèles animaux dont l'alimentation a été complétée en AGT ont montré une accumulation de ces acides dans leur testicules; et une diminution du nombre de spermatozoïdes voire de la fertilité, et dans les cas extrêmes, l'arrêt de la spermatogenèse et la dégénérescence des testicules.

1.2.7 AGT et autres maladies

Ce sont les maladies pour lesquelles peu de relation d'association ont été établies. Dans la littérature, la plupart des études sur les effets biologiques et la sécurité alimentaire des AGT ont été controversées [16, 23]. Une récente étude [35] sur la démence suggère que la prédominance des AGT dans l'alimentation peut induire une hyperactivité de l'amphétamine ; ce qui indiquerait les anomalies de comportements liées aux symptômes maniaques, que l'on retrouve dans les hôpitaux psychiatriques. Pour bien d'autres maladies telles que la maladie de Parkinson, la cataracte et la sclérose en plaque les résultats ne sont toujours pas concluants. En vertu de tous ces effets nocifs il serait intéressant de porter un regard sur la composition en acides gras des aliments, les conditions de cuisson permettant d'y générer le moins possible d'AGT. Selon notre connaissance aucune enquête alimentaire exhaustive n'a été conduite auprès de la population afin d'identifier la provenance alimentaire d'AGT dans les groupes des adultes et des enfants au Bénin.

Question de recherche : Quel est le profil des AGT dans les aliments Non-transformés/transférés habituellement consommés par la population béninoise vs tunisienne et égyptienne ?

Hypothèse de recherche : Les aliments béninois non-transformés/transférés seraient aussi riches en AGT que celles d'ailleurs. En dehors des différences quantitatives aucune différence qualitative ne devrait être relevée.

L'objectif général de cette étude était donc d'établir le profil d'AGT générés lors de cuisson de divers aliments, principales sources de matières grasses au Bénin ainsi que celui de quelques aliments provenant d'ailleurs (Tunisie/Egypte).

Objectifs spécifiques

- Etablir le profil des différents acides gras : saturés, monoinsaturés, poly-insaturés et AGT dans les aliments non-transformés
- Etablir le profil des AGT dans le palme, sésame et fromage avant/après traitements thermiques

2 Revue de littérature

2.1 Définition des AGT

Un acide gras peut être désigné de plusieurs manières :

2.1.1 Nomenclature des AGT

Les acides gras sont nommés en nomenclature systématique à partir de leur radical alkyl correspondant (chaîne aliphatique non ramifiée), la structure de la chaîne carbonée (nature des liaisons *cis* ou *trans*, nombre, position et configuration des doubles ou triples liaisons) et enfin le suffixe indexant la nature de leur fonction acide carboxylique. Toutefois, si existe un substituant son nom doit précéder le nom du radical alkyl tout en indiquant sa position de greffe sur l'atome carbone [23].

Ainsi, l'acide octadécadiène 9*cis*,12*cis* oïque est un corps gras de fonction acide «oïque», d'un squelette à 18 atomes de carbone (octadéca), 2 doubles liaisons (diène) positionnées sur les carbones 9 et 12 en comptant à partir de la fonction carboxylique acide, de configurations géométriques *cis*. Cette nomenclature peut aussi se simplifier. L'acide octadécadiène 9*cis*, 12*cis* oïque deviendrait donc le 18:2 Δ9*cis*, Δ12*cis* ou plus souvent 18:2, 9*c*, 12*c* (figure 4). Les principaux acides gras peuvent être également désignés de façon ordinaire par le produit dans lequel il a été identifié, extrait pour la première fois ou retrouvé en quantité notable. Le 18:2 Δ9*cis*, Δ12*cis* ou plus souvent 18:2, 9*c*, 12*c* est couramment appelé acide linoléique. Toutefois c'est l'appellation abrégée qui sera adoptée tout au long de ce travail.

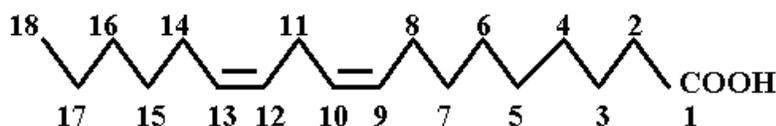
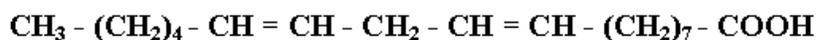


Figure 4 : Chimie de l'acide linoléique (18:2, 9*c*, 12*c*)

Pour mettre l'accent sur la fonction biologique de certains acides gras, les biochimistes et nutritionnistes ont introduit une variante de cette numérotation abrégée, qui consiste à numéroter les atomes de carbone à partir du méthyle terminal, et non plus du carboxyle. L'acide linoléique devient alors le 18:2 n-6 (n étant le nombre de carbone, et 6 la position portant la 1^{ère} double liaison à partir du méthyle terminal). Cette nomenclature diététique convertit l'acide linoléique en 18:2 ω6 [23] faisant ressortir une notion de série AG

n-6 (ω_6) et n-3 (ω_3), dans laquelle l'acide linoléique donneront le 18:3 n-3 (ω_3) simplifié (abrégé) en 18:3 9c, 12c, 15c.

2.1.2 Isomérisation des acides gras

Chacune des doubles liaisons de la chaîne carbonée peut engendrer deux types possibles d'isomérisation, géométrique et/ou positionnelle.

Isomérisation géométrique

La présentation des doubles liaisons dans une chaîne carbonée se fait selon deux modalités dans l'isomérisation géométrique: la configuration *cis* dans laquelle les atomes d'hydrogènes reliés aux atomes de carbone se situent du même côté du plan de la liaison. Cette configuration *cis* est la plus fréquente dans la nature, et particulièrement dans les aliments naturels. Dans la configuration *trans* (la moins fréquente dans la nature), les atomes d'hydrogènes sont placés de part et d'autre du plan de la double liaison (figure 5), [16, 23].

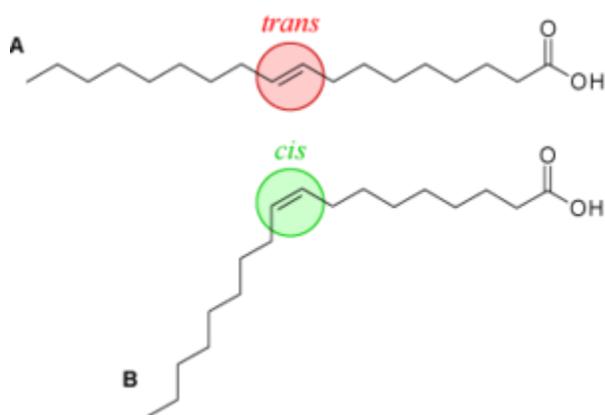
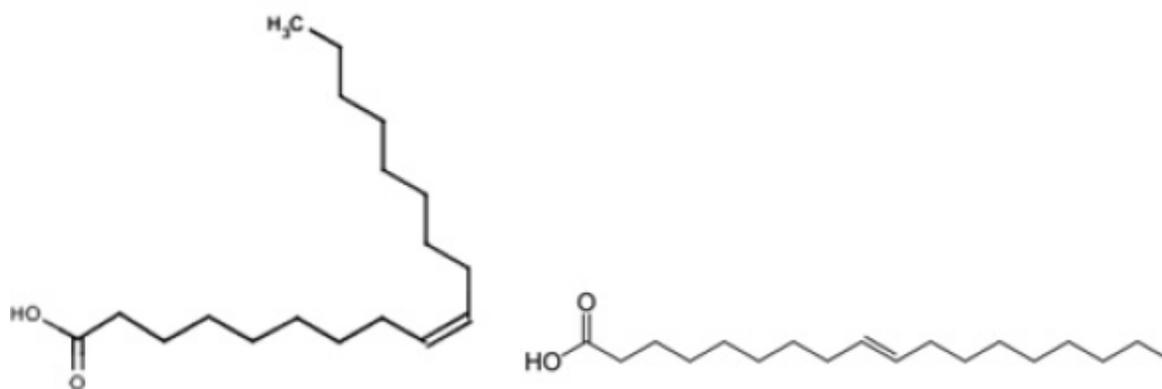


Figure 5 : A-l'acide élaïdique (18:1, 9t)

B-l'acide oléique (18:1, 9c)

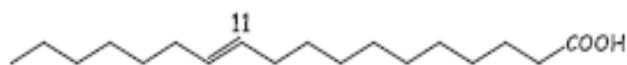
Isomérisation positionnelle

Dans l'isomérisation positionnelle, tout dépend de la position de la double liaison sur la chaîne carbonée. En théorie, cette double liaison se situerait à n'importe quel niveau de la chaîne carbonée d'un acide gras. Les doubles liaisons semblent être de types maloniques et jamais de types conjugués (figure 6) [16].



Acide Oléique 18:1, 9c

Acide élaïdique 18:1, 9t



Acide vaccénique 18 :1, 11t

Figure 6 : Isomérisation positionnelle

2.2 Définition proprement dite des AGT

2.2.1 Définition en chimie organique

Un AGT est un acide gras insaturé possédant une ou plusieurs doubles liaisons de configuration géométrique *trans*, c'est-à-dire dont les substituants (ou les atomes d'hydrogène) se situent de part et d'autre du plan de la double liaison [23].

2.2.2 Réglementation de la teneur des aliments en AGT

Il existe d'autres définitions données par les organisations dont celle du Codex Alimentarius, de l'EFSA, de la FDA, du Danish Nutrition Council et de l'OMS [3]. Selon le Codex Alimentarius, les AGT sont « tous des isomères géométriques d'acides gras monoinsaturés et polyinsaturés ayant des doubles liaisons carbone-

carbone non conjuguées interrompues par au moins un groupe méthylène (-CH₂-CH₂-) dans la configuration « *trans* » [23]. L'EFSA précise que les AGT polyinsaturés doivent « Avoir au moins une double liaison *trans* et peuvent également avoir des doubles liaisons dans la configuration *cis* ». Cette définition exclut les acides gras conjugués tel que l'acide linoléique conjugué (CLA). Selon cette définition, la teneur en AGT dans les margarines commercialisées dans les États-Unis (US) représente 10 à 36% des acides gras totaux et la consommation moyenne des AGT dans cette population est de 5,3 g / jour. Les États-Unis et le Canada étaient les deux premiers pays à introduire la déclaration obligatoire des AGT. Mais bien souvent aux États-Unis, les produits ayant moins de 0,5 g d'AGT par quantité de référence et par portion étiquetée, sont exprimés comme 0 g d'AGT. Au Canada, la limite est de 0,2 g de gras *trans* par portion et par quantité de référence [3]. En 2004, le Danemark a été le premier pays européen dans le monde à introduire une limitation sur le contenu en AGT des aliments dans les pays industrialisés. L'exposition au AGT par un menu riche en AGT au Danemark a été réduit de 30 g en 2001 à une teneur <1 g en 2005. L'Organisation mondiale de la santé recommande que les graisses à la consommation humaine devrait contiennent moins de 4% de la matière grasse totale *trans* et a exhorté les industries alimentaires à réduire la présence des AGT dans leurs produits à ces niveaux. En 2009, des études ont rapporté qu'il y avait suffisamment de preuves épidémiologiques pour la révision de cette recommandation de l'OMS [3]. Aujourd'hui, la teneur en AGT par portion alimentaire recommandée par l'OMS est inférieure 1%.

2.3 Origine des AGT

Les AGT proviennent de trois principales sources. La première source est le procédé d'hydrogénation catalytique partielle [3], qui convertit les huiles végétales liquides dans les graisses solides ou semi-solides avec propriétés de fusion appropriées pour les produits tels que « *shortenings* » et margarines. La deuxième source est la présence naturelle dans les graisses de ruminants formées dans leur estomac par hydrogénation microbienne (fermentation) des acides gras *cis* insaturés [3,16]. Cette seconde source est responsable de la faible présence d'AGT dans le lait et les denrées alimentaires issues des ruminants (viande, produits d'origine laitière). La troisième source des AGT est la thermo-oxydation, traitement responsable de la formation d'AGT dans les huiles, les graisses, et tout aliment contenant des corps gras [3]. Ils peuvent donc provenir des techniques ménagères de cuisson des aliments à corps gras. Il est primordial de savoir que le groupe le plus important d'AGT dans l'alimentation humaine est l'isomère 18 :1t dont le 18:1,11t (acide vaccénique) isomère toujours majoritaire dans les graisses de ruminants [3,5]. Dans le commerce des graisses végétales hydrogénées, le 18:1,9t (acide élaïdique) et le 18:1,10t sont prédominantes [16].

2.3.1 Hydrogénation catalytique partielle

Ce procédé industriel a pour but de rendre les huiles plus concrètes et moins sensibles à l'oxydation par la modification des propriétés physico-chimiques des acides gras [30]. Ainsi les AGT sont générés simultanément lorsque l'huile est convertie en corps gras solides à travers le produit chimique (tableau 1). Cette technique peut générer plus de 50% d'AGT dans le milieu de préparation [16]. L'introduction des graisses hydrogénées est préférée des industriels pour son coût peu onéreux. L'hydrogénation partielle permet le raffinage des huiles végétales comestibles favorisant l'élimination de certains impuretés ou attributs naturellement présents (acides gras libres, phospholipides, glucides, protéines et leurs sous-produits de dégradation) qui peuvent modifier la couleur, le goût et l'arôme [6]. Au cours du raffinage, les huiles végétales sont souvent chauffées entre 60° et 100°C ; et ensuite soumises à une désodorisation, qui vise à améliorer ses caractéristiques organoleptiques. Au cours des Procédés de désodorisation, la température est portée à 180°C-270°C ce qui conduit à la formation des AGT dans l'huile végétale [5].

Les taux d'AGT et la distribution des différents isomères (tableau I) dépendent de plusieurs paramètres tels que: la nature et la composition des acides gras insaturés des huiles, la nature du catalyseur, les conditions d'hydrogénation (température, pression, agitation) puis le degré de dureté atteint [23].

Tableau I : Principaux isomères d'AGT formés suite au processus de transformation dans quelques produits d'alimentaires [5]

Type d'AGT	Processus de formation	% d'AGT	Isomères trans formés	Produits alimentaires
Naturel/ruminant AGT	Biohydrogénation	3-8	18:1, 11t acide vaccénique, Acide linoléique conjugué	Les produits laitiers, les viandes et les graisses animales de ruminants
Hydrogénation AGT	Hydrogénation partielle des huiles végétales	10-50	acide élaïdique, 18:1, 9t isomère majeur (80–95%); autres : 18:2, 18:3 et 16:1 isomères trans	Vanaspati / margarine, produits alimentaires préparés par des Indiens (exemple des saveurs; jalebi / Ladoo / kachori / namakpara, les produits de boulangerie; galettes de tourteaux)
	Traitements thermiques Désodorisation/friture	1-3	18:2 et 18:3 isomères trans	Samosa / Bhatura / Pakora / Frites françaises

2.3.2 Biohydrogénation ruminale

La présence d'AGT chez les ruminants est naturelle [16]. On les retrouve dans les viandes ou les produits laitiers en provenance de ces ruminants (1.7 à 2.5 des AG totaux [16,23]. Le processus de biohydrogénation ruminale est le résultat de l'action de micro-organismes présents dans la flore ruminale sur les AG polyinsaturés de la ration des ruminants, les convertissant en AG [15]. Trois voies de biohydrogénation sont mobilisées dans ce métabolisme, donnant l'acide linoléique conjugué ((18:2 9c, 11t et 18:2 10t, 12c) à partir de l'acide linoléique (18:2, 9c, 12c) et des acides gras conjugués (18:3 9c, 11t, 15c et 18:3 6c, 9c, 11t) issus respectivement acides α -linoléique (18:3 9c, 12c, 15c) et γ -linoléique (18:3 6c, 9c, 12c) [5]. La voie utilisant comme précurseur l'acide linoléique semble d'une grande importance d'une part vu le rôle antioxydant et inhibiteur de certaines formes sévères de néoplasie de la 18:2 9c, 11t et d'autre part le rôle régulateur de la matière grasse corporelle de la 18:2 10t, 12c [5, 23]. Tous ces AGT seront excrétés et retrouvés dans le lait. Au niveau mammaire, d'autres réactions enzymatiques peuvent survenir sous l'effet de la $\Delta 9$ -désaturase, entraînant la formation de nouveaux AGT ou la modification de ceux issus du rumen. La transformation de l'acide vaccénique 18:1 11t en acide ruménique en 18:2 9c, 11t grâce à la $\Delta 9$ -désaturase présent dans le tissu mammaire [23]. Cette voie explique la teneur élevée de l'acide ruménique par rapport aux autres acides linoléiques conjugués dans la matière grasse laitière. La présence AGT dans les produits laitiers peut s'expliquer également par l'alimentation des ruminants, comme l'acide hexadécén 3t oïque (16:1 3t) [23].

2.3.3 Traitements thermiques

La friture de l'huile (150 °C-190 °C voire plus) agit en tant que milieu de transfert thermique et contribue à la texture et la saveur des aliments frits [5]. Au cours de ce processus huiles comestibles ou graisses subissent des réactions chimiques diverses qui incluent l'oxydation, d'hydrolyse, d'isomérisation, de polymérisation et cyclisation [6]. En conséquence, une multitude de produits comme gras libres acides, sont formés et ensuite s'incorporent dans les aliments et sont responsables de l'apparence, l'arôme, et goût de la nourriture frite. Les études évaluant la qualité de l'huile après friture ont montré une perte de doubles liaisons cis avec une augmentation de l'insaturation trans, confirmant ainsi la formation d'AGT pendant le processus. Contrairement à l'hydrogénation catalytique, le chauffage induit peu d'isomères 18:1-trans, mais surtout des dérivées de l'acide linoléique et linoléique [16]. 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 [16, 23]. Les isomères formés et les taux d'AGT produits dépendent surtout de la température atteinte, mais également du temps d'application du traitement [6, 23]. L'acide α -linoléique est plus sensible à l'isomérisation que l'acide linoléique et la probabilité de formation des isomères géométriques 18:3-trans est 12 à 14 fois supérieure à celle des 18:2-trans [23]. Les isomères les plus fréquentes sur les sept théoriquement possibles sont les 18:3 9c, 12c, 15t et 9t, 12c, 15c (85-90 %

des 18:3-*t*) ; les 18:3 9*t*, 12*c*, 15*t* et 9*c*, 12*t*, 15*c* (10-15 % de ces isomères 18:3-*t*). Les proportions relatives de ces quatre isomères semblent être assez constantes et indépendantes du taux initial en acide α -linoléique. 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 9*c*, 12*c* sont en proportions moins importantes (jusqu'à 1 % des AG totaux des huiles raffinées), et sont surtout des mono-*trans* : 18:2, 9*t*, 12*c* et 9*c*, 12*t*. L'isomère di-*trans* 18:2, 9*t*, 12*t* n'est retrouvé que dans des cas de températures très élevées ou dans des huiles de fritures très utilisées.

2.4 Propriétés physico-chimiques des AGT

La linéarité des acides gras saturés par rapport à la chaîne carbonée insaturée non conjuguée est approximativement conservée dans la configuration géométrique *trans* des doubles liaisons. Quant à la rigidité de la chaîne insaturée, elle est en revanche supérieure à la rigidité de la chaîne saturée et ceci s'explique par la restriction par les doubles liaisons insaturées des mouvements des carbones impliqués dans la liaison [16]. Par ailleurs contrairement aux doubles liaisons *trans*, les doubles *cis* provoquent une incurvation des chaînes carbonées; ceci explique le passage de la matière grasse de l'état liquide à l'état semi solide voire solide lors de la transformation des acides gras de la forme *cis* à la forme *trans*. D'autre part, le point de fusion d'un acide gras insaturé ayant des doubles liaisons *trans* est supérieur à celui d'un acide gras à double liaisons *cis*. Cette propriété d'augmenter le point de fusion et donc d'augmenter la solidité de la matière grasse est l'un des procédés préférés des industriels [23].

2.5 Composition des aliments en AGT

Les AGT entre quotidiennement dans notre alimentation. En effet ils sont présents dans les aliments naturels, ou peuvent être générés au cours des procédés de transformation industriels voire ménagères [16]. Les données sur les sources alimentaires des AGT sont principalement relatives aux pays nord-américains et européens. A notre connaissance, aucune enquête individuelle de consommation alimentaire n'a été encore réalisée en Afrique voire au Bénin.

2.5.1 Principaux aliments contenant des AGT

Ce sont pour la plupart des aliments provenant de la transformation industrielle suivis des produits d'origine animale [5, 16].

Les aliments provenant des ruminants

Les AGT formés au cours du métabolisme ruminal sont absorbés tout au long de ce métabolisme, passent dans le sang, puis dans les tissus (gras et maigre), notamment dans les tissus mammaires et musculaires et sont également excrétés dans le lait. Les AGT peuvent s'y retrouver à des teneurs de (21%).

Le lait et les produits laitiers

Il apparaît à travers les études que les 18 :1 trans sont majoritaires dans la matière grasse laitière à des teneurs d'environ 1,7 % à 2,5 % des AG totaux en fonction de la nature de l'alimentation du bétail [16].

Les viandes de ruminants

Les AGT se retrouvent dans les lipides des muscles et notamment dans les viandes consommées par l'homme. Comme pour les produits laitiers, les acides gras 18:1 *trans* des viandes sont majoritaires et varient en fonction de l'espèce [16, 23].

Les huiles végétales et margarines

Les principales sources d'AGT aux USA sont des produits d'origine industrielle huiles végétales et de la margarine (80-90%) de l'apport total en AGT [36]. Grignotines, pommes de terre frites et principalement de croustilles, de contribuer 13%, tandis que l'autre 7% provient de la vinaigrette et le raccourcissement. Dans l'ensemble, environ 80% des produits alimentaires contenant des huiles partiellement hydrogénées constituent les principales sources de consommation d'AGT. Au Canada, les produits alimentaires contenant des HVPH sont trouvés principalement dans les aliments cuits et frits, comme les craquelins, biscuits, beignes, muffins, croissants, Française frites et les aliments panés. Ces produits alimentaires ont également été trouvés être les principales sources d'AGT d'un groupe de femmes enceintes. Parmi ces femmes, produits de boulangerie ont contribué 33% de la TFA consommé, fast-foods de 13%, le pain 10%, 10% des collations et des margarines ou shortenings 8%. La composition en AGT de certaines margarines et certaines huiles végétales partiellement hydrogénées peuvent atteindre 40 à 60%. Les margarines ménagères de qualité moyenne présentent un taux variable entre 15 et 18%, et les margarines ménagères récentes entre 1 et 2% d'AGT [23]. La teneur en 18:1t représente 80% de l'ensemble des AGT totaux avec une variation de 0,1% dans les biscuits à 61% pour la pâte feuilletée [23].

2.6 Mécanismes d'action des AGT

Le mécanisme d'action des AGT sur les lipoprotéines sériques est différente de celui des acides gras saturés C12-16 [37]. En plus d'augmenter la concentration du cholestérol -LDL, de réduire de la taille de

celui-ci dans le sang, les AGT diminuent la concentration du cholestérol-HDL sérique indépendamment de leur origine [16]. Ces LDL de petites tailles sensibles à l'oxydation vont facilement pénétrer dans l'espace sous-endothélial des artères ; ce qui leur confère un caractère fortement athérogènes. Plusieurs études ont évalué l'effet de substitution des acides gras saturés par les AGT dans l'alimentation. Les résultats suggèrent une association entre la quantité des AGT apportés et le profil lipidique. Cependant les changements de concentrations en triglycérides restent insignifiants [16,37]. Une augmentation de la protéine de transfert des esters de cholestérol (CETP) par l'alimentation en AGT a été documentée dans plusieurs études. Le double effet de baisse de HDL-cholestérol et de l'augmentation du cholestérol-LDL pourrait se justifier par l'augmentation de l'activité de cette protéine [16]. L'augmentation du rapport ApoB/ApoA dans les études de supplémentation par des AGT a été prouvée même si le mécanisme reste mal élucidé à tous les niveaux [37].

Afin de déterminer ces acides gras il faut des procédés fiables, reproductibles tels qu'une bonne méthode d'extraction des acides gras et une analyse stricte par la chromatographie phase gazeuse (CPG) sur une colonne capillaire.

3 Matériels et Méthodes

3.1 Laboratoire de recherche

Le laboratoire de biochimie nutrition trouve ses locaux dans le bâtiment central mis à sa disposition dans la Faculté de Médecine au 3^{ème} étage. Cinq salles de préparation aménagées de paillasse de longueur totale 40 m sont consacrées à l'analyse des aliments et fluides physiologiques. Ces paillasses portent surtout des équipements pour l'analyse des nutriments majeurs (protéines, lipides totaux et libres) et divers autres dosages volumétriques et gravimétriques des nutriments. D'autres équipements sophistiqués fonctionnels sont disponibles pour la caractérisation des nutriments industriels : Chromatographie en phase gazeuse (CPG), High performance Liquid chromatography (HPLC), un rancimate, spectrophotomètre et le couplage GC- spectrométrie de masse (GC-SM). Quatre réfrigérateurs/congélateurs permettent la conservation des extraits et solvants d'extraction. Une des salles est destinée à la biologie moléculaire. Le laboratoire dispose également de compétences et d'équipements (balances, étuve, autoclave, checker, rota vapeur et centrifugeuse). Il s'y trouve aussi un cyberspace doté d'un fond documentaire pour les chercheurs. Le laboratoire accueille en stage des chercheurs spécialisés dans les domaines de la santé, de la nutrition et de la chimie alimentaire. Il encadre de projets de fin d'études, de master-pro et de thèses. Les principaux axes de recherche s'articulent autour de l'huile d'olive, grenade, dattes, palmier puis la valorisation des aliments fonctionnels autochtones et des substances bioactives (polyphénols, anthocyanes, vitamine E et les arômes) Il s'intéresse également aux modèles de consommation

alimentaire de la population tunisienne vis-à-vis des maladies métaboliques chroniques tels que le diabète l'hypertension artérielle, l'obésité et maladies neurodégénératives. Les travaux de recherche du dit laboratoire se sont soldés depuis 1990 à plus de 54 DEA-Masters et 25 thèses de spécialisation (Ph D) ont été réalisés et bien soutenus. D'autre part une large gamme de ces travaux de recherche a été publiée dans de nombreux journaux dont la prestigieuse revue American Journal of Clinical Nutrition (plus de 120 références scientifiques parues dans les revues indexées avec impact factor). Toutefois, le laboratoire n'héberge pas de site internet; ce qui ne permet pas aux chercheurs et aux industriels de mieux le connaître.

3.2 Matériels de laboratoire

Tous les matériels utilisés dans ce travail ont été mis à disposition par le laboratoire de biochimie. On peut ainsi les énumérer comme suit :

- Balance de précision RADWAG AS160/C/2 à résolution 0,1mg
- Spatule
- Tubes à centrifuger de 15 et 50 ml
- Vortex et centrifugeuse réfrigérée Jouan GR 1.11.
- Pipette pasteur, poire et autres pipettes de 5 et 10 ml
- Tubes à hémolyse de 15 ml
- Cônes à prélever
- Bac d'évaporation sous courant d'azote
- Plaque chauffante
- Réfrigérateur
- Colonne capillaire DB-23 Agilent J&W DB-23 (60 m de longueur × 0.32 mm de diamètre intérieur, 0.25 µm) pour la CPG.
- Etuve
- Erlenmeyer

3.3 Produits chimiques et standards

Tous les solvants utilisés dans les procédures d'extraction ont été obtenus auprès de SIGMA-ALDRICH (Germany), PROLABO (France) et SHARLAU Chemie S.A (European Union). L'azote (Air Liquide Tunisie)

a servi d'agent de séchage. L'hydroxyde de potassium KOH a été fourni par Chemi Pharma. Dans le cadre de ce travail le laboratoire s'est approvisionné des standards d'esters méthyliques d'acides gras auprès de Merck (Darmstadt, Allemagne) et Supelco (Bellefonte, PA, Etats-Unis) :

- Acide laurique (C12:0),
- Acide myristique (C14:0),
- Acide palmitique (C16:0),
- Acide margarique ((C17:0),
- Acide stéarique (C18:0),
- Acide élaïdique (C18:1, 9 *t*),
- Acide oléique (C18:1n-9),
- Acide vaccénique (C18:1 n-7 *t*),
- Acide linolélaïdique: C18: 2n-6 (9 *t*, 12 *t* ; 9 *t*, 12 *c*; 9 *c*, 12 *t*),
- Acide gamma linoléique (C18:2 n-6),
- Acide alpha linoléique (C18:2 n-3), 9 *cis*, 11 *trans*-Octadécadiénoïques (C18:2, 9 *c*, 11 *t*), 10 *trans*, 12 *Cis* -Octadécadiénoïques (C18:2, 10 *t*, 12 *c*),
- Acide linoléinique (C18:3 n-3),
- Acide arachidique (C20 :0),
- Acide béhénique (C22 :0),
- Acide érucique (C22:1 n-9),
- Acide arachidonique (C20:4 n-6),
- Acide lignocérique (C24:0).

3.4 Prélèvement des échantillons

Les aliments analysés ont été sélectionnés de façon aléatoire pour la plupart. Les choix se sont basés sur la région réputée dans la production de certains aliments. Les vendeurs ont été numérotés et tirés au sort. Le choix final de l'aliment a été fait sur la proposition du vendeur. Le schéma de sélection pour les aliments dans les supermarchés était différent. Il a été guidé par la disposition de l'aliment (celui qui a attiré notre attention).

- L'huile de palme (PLM-BEN), espèce *Elaeis guineensis* a été obtenue sur les marchés locaux d'Abomey (Bénin) en Août 2011. Elle a été conservée à température ambiante avec des fluctuations entre l'hiver égyptien et l'été tunisien.
- L'huile d'olive (OLV-TUN), de variété *Chemlali* provenant de la région du Sahel est obtenue dans un supermarché de la Tunisie.
- Les graines d'arachide (ARA-BEN et ARA-TUN) ont été respectivement fournies par les marchés locaux du Bénin et de la Tunisie.
- Les échantillons de graine de sésame moulu (SSM-BEN) et de *Chamia* (CHM-TUN) sont achetés respectivement auprès des supermarchés du Bénin et de la Tunisie.
- Les échantillons de fromage (FMG-BEN) en provenance du Bénin « *wagashi* » ont été achetés auprès des marchés locaux au Nord du Bénin. Il a été obtenu à partir d'un préchauffage du lait de vache à 60°C pendant cinq minutes puis après ajout d'un agent coagulant (*Calotropis procera*) il a été porté à 95°C pendant cinq minutes avant d'être égoutté. Il a été ensuite fumé puis congelé à – 20°C pendant 10 mois.
- Le Fromage de la Tunisie (FMG-TUN) a été acheté auprès d'un supermarché de la Tunisie.
- Les arômes *Knorr-poulet* (KNR-EGY et KNR-TUN) ont été respectivement achetés dans les supermarchés de l'Egypte et de la Tunisie.

3.5 Préparation et traitement des échantillons

La composition en AGT dans tous les aliments bruts a été étudiée. Les huiles de Palme, Sésame, et graisse animale (fromage) ont été ensuite traitées à l'étuve dans un Erlenmeyer comme suit:

- Chauffage de l'huile de palme à température de friture (180°C) pendant 300 min
- prélèvement chaque 30 min pour analyses

3.6 Méthodes d'analyse

3.6.1 Extraction des lipides

La méthode de Folch a été utilisée pour l'extraction des lipides sauf pour les huiles de palme et olive. Dans un flacon de 50 ml, introduire 0,5 g d'échantillons, ajouter 10 ml de chloroforme/méthanol (2:1, V/V). Centrifuger à 3000 tr/min pendant 10 min à 6°C. Au mélange, ajouter 2ml d'eau distillée et agiter vigoureusement au vortex pendant 30 s. Centrifuger le substrat bi-phasique à 3000 tr/min pendant 10 min à 6°C. Prélever la phase chloroformique. L'extraction a été répétée deux fois et le filtrat est collecté. Le

solvant a été éliminé par séchage sous azote à 40°C. L'huile obtenue est ensuite passée sous flux d'azote et conservée à -20°C.

3.6.2 Préparation des esters méthyliques des acides gras

Deux types de méthylation ont été utilisées dans ce travail : une méthylation à froid d'une part pour les huiles de palme et olive, d'autre part une méthylation à chaud pour les autres échantillons.

Méthylation à froid

La méthode de méthylation à froid consiste à ajouter à 0,1g d'huile, 0,2 ml de KOH (2 N) dans le méthanol, 100 µl du standard (C17 :0) et 2 ml de n-hexane. Le mélange est agité énergiquement et laissé reposer pendant 5 à 10 min à température ambiante. Un séchage sous azote à 40°C a été envisagé afin de concentrer les extraits. Après rajout de 1ml de n-hexane, nous avons prélevé 1µl du mélange pour l'injection au CPG.

Méthylation à chaud

Quant à la méthylation à chaud, les extraits lipidiques (0,1g) ont été additionnés respectivement de 2 ml de HCL/Méthanol (1:5, V/V) et 100 µl du standard (C17 :0) avant d'être incubés à 100° pendant deux heures. Ensuite il a été ajouté aux extraits 1 ml de n-hexane. Nous avons ensuite prélevé 1 µl du mélange pour l'injection au CPG.

3.6.3 Analyse des acides gras des échantillons par CPG

Trois essais respectifs de dosage ont été réalisés pour chaque échantillon analysés. Les résultats des trois essais nous a permis de déterminer les moyennes d'acides gras.

Principe de la chromatographie en phase gazeuse

La CPG est une méthode de séparation des composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition (figure 7). Un gaz vecteur inerte (azote, hydrogène, argon ou hélium), appelé phase mobile parcourt un tube appelé colonne capillaire (de longueur 30-60 m), tapissée d'une silice (phase stationnaire) permettant la rétention des molécules polaires et apolaires. Le mélange à séparer est injecté à l'entrée (appelée *injecteur*) de la colonne où il se dilue dans la phase stationnaire et est entraîné par la phase mobile. On distingue deux types d'injecteurs dont ceux destinés aux colonnes remplies et ceux destinés aux colonnes capillaires. La différence entre celles-ci est due au type de phase stationnaire qui y est contenu : pour les colonnes remplies, ce sont des grains de silice sur lesquels repose

un film liquide alors que pour les colonnes capillaires le film est directement déposé sur les parois de la colonne.

Les solutés, en fonction de leur nature, sont plus ou moins retenus et sortent de la colonne séparés au sein de la phase mobile. Un détecteur placé en sortie de colonne permet de détecter la présence d'un soluté au sein du gaz vecteur. Ce détecteur peut être :

- Un TCD : détecteur électrique, basé sur le principe du pont de Wheatstone : le passage des composants va faire varier la tension, cette variation est due à la différence de conductibilité de chaque composant ;
- Un FID : détecteur à ionisation de flamme : une tension de l'ordre de la centaine de volts est maintenue entre la buse de la flamme et une électrode entourant cette dernière. Lorsque les molécules traversent la flamme, elles sont ionisées ce qui provoque entre les électrodes un courant électrique qui est ensuite amplifié.
- Un ECD : détecteur à absorption électronique : des électrons sont émis, en général par une source radioactive (rayonnement bêta), et traversent le gaz ; lorsqu'un électron rencontre une molécule de gaz, il peut être capturé, ce qui fait varier l'intensité du courant d'électrons, cette intensité étant mesurée en continu.
- Un NPD : détecteur thermoïonique
- Un MS : spectromètre de masse, utilisant principalement l'impact électronique ou l'ionisation chimique comme modes d'ionisation.

On enregistre cette variation sur l'enregistreur en fonction du temps de sortie du pic, dit temps de rétention. Le temps de rétention caractérise qualitativement la substance concernée au travers d'apparition d'aire de pics. Les appareils actuels sont pilotés par un ordinateur grâce au logiciel CHEMSTATION. La réponse du détecteur est enregistrée dans un fichier stocké sur le disque dur et affichée simultanément en temps réel sur l'écran de l'ordinateur. Cet enregistrement constitue le chromatogramme. La nature des composants est donnée par le temps au bout duquel apparaît le pic (temps de rétention). Pour mettre en relation le temps et la nature chimique, on se sert d'un mélange de composés de référence.

Dans le cas des acides gras, l'injection en CPG de l'extrait lipidique est précédée d'une méthylation directe des AG, présents sous forme libre ou estérifiés au glycol dans le mélange, afin de les rendre volatils. Les esters méthyliques d'acides gras sont séparés alors par CPG sur une colonne capillaire avec une phase stationnaire de polarité élevée, et ceci par rapport à la longueur de leur chaîne, au degré de saturation ou d'insaturation, ainsi qu'à la géométrie et à la position des doubles liaisons.



Figure 7 : Appareil de CPG

Conditions expérimentales de la CPG

Les esters méthyliques ont été analysés par CPG à l'aide d'un appareil de type HP 5890 munie d'une colonne capillaire DB-23 de 60 m de longueur avec comme phase stationnaire le polyéthylène glycol, avec un diamètre intérieur de 0,32 mm et un film de 0,25 μm d'épaisseur de silice. La méthode d'éluion d'acides gras a duré 31 minutes. 1 μl d'échantillon a été injectée. La température de l'entrée (injecteur) a été fixée à 250°C, le détecteur de température à 280°C. L'azote a été utilisé comme gaz porteur à débit constant de 1 ml / min. Le flux de split a été mis à 50 ml/min résultant en un rapport de division de à 1:50. La température programmé au four était de du four : température initiale à 180°C pendant 1 min, a ensuite augmenté jusqu'à 240°C avec une variation de 3°C / min puis et a été ainsi maintenue pendant 10 min. Les esters méthyliques d'acides gras ont été identifiés en se référant à une gamme étalon contenant des esters méthyliques d'acides gras. L'acquisition des données a été réalisée par le logiciel ChemStation Rev A 06.03.

3.6.4 Analyse des acides gras des échantillons par couplage CPG-SM

Principe du CPG-SM

La CPG équipée d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) est la méthode d'analyse la plus couramment utilisée pour le dosage des acides gras en général, et des AGT et des acides linoléiques conjugués (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-F ID un extrait estérifié d'un corps gras dont la composition en acide gras est simple, on peut, dans la plupart des cas, doser facilement les acides gras 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 compliquée si l'on veut doser de manière précise les isomères *trans* que ce soit dans les produits laitiers ou dans les huiles hydrogénées. Pour ce faire, une précision a été apportée par la CPG-SM (Figure 8).

L'identification des AGT des différents échantillons (diluée à 0,1g/ml dans l'hexane) a été réalisée par couplage CPG-SM, composé d'un chromatographe en phase gazeuse (HP 5890 – SERIE II) couplé à un spectromètre de masse quadripolaire (HP- MSD 5972 A) en mode impact électronique. Une colonne polaire HP INNOWAX de 30 m de longueur, 0,25 mm de diamètre interne et de 0,52 μm d'épaisseur de film dont la phase stationnaire était le cyanopropyl-méthyl polysiloxane.



Figure 8 : Appareil CPG-SM

Conditions expérimentales du couplage CPG-SM

Les températures de l'injecteur, de la source et de l'interface sont respectivement : 250, 175 et 280 °C. Le gaz vecteur est l'hélium (débit de 1,2 mL/min), la pression est de 9 Psi. La température de la colonne polaire est programmée de 50 °C à 250 °C à raison de 5 °C/min avec deux paliers, un à 50 °C durant 1mn et l'autre à 250 °C durant 20 min. Le volume injecté est de 1 μL (dilué à 10 % dans l'hexane). L'acquisition des données spectrales a été réalisée en mode de balayage (2 scan/s). Elle est de 50 à 550 uma (unités de masse atomique), la source était en mode d'impact électronique et l'énergie d'émission était de 70 e Volts.

L'analyse spectrale des composés est faite par une comparaison avec leurs homologues à l'aide des spectrothèques NBS75K.L et WILEY275. Les notes de concordances (N/C) obtenues ont permis de consolider les structures proposées.

3.7 Analyse statistique

L'identification des pics a été réalisée par comparaison des spectres de rétention de temps et de masse respectifs avec les différents standards. La quantification de chaque AGT a été effectuée en utilisant la courbe d'étalonnage sur la base du total des ions actuelles (TIC), des données surface relative du pic à la norme interne. La teneur en acides gras a été convertie à l'acide correspondant par un facteur de conversion grâce au logiciel HPCHEM. L'analyse des données a été réalisée sur Excel sur une base de comparaison statistique entre les différentes catégories analysées et entre les aliments d'une même catégorie. Pour évaluer les méthodes de méthylation et de l'extraction, la récupération et écart-type relatif de la reprise étaient calculées. Le taux de récupération de C17 :0 était $97,7\% \pm 0.8\%$. La récupération, la reproductibilité de la méthode et les procédures de préparation des échantillons étaient semblables à la méthode officielle AOAC 996.06, avec quelques modifications. La courbe d'étalonnage était linéaire.

4 Résultats

Trois essais ont été réalisés par échantillon. Les résultats obtenus sont la moyenne de ces essais, soit $n = 3$.

4.1 Composition générale des aliments en acides gras

L'analyse de dix variétés d'aliments non-transformés/ transformés a été effectuée afin de caractériser leur profil en acides gras. Les résultats révèlent la prédominance des acides gras saturés dans cinq aliments. Les teneurs extrêmes sont retrouvées dans les produits laitiers: FMG-BEN ($73.81\% \pm 10.68\%$), FMG-TUN ($70.54\% \pm 9.42\%$). Parmi les aliments oléagineux, l'huile de palme semble avoir le plus d'acides gras saturés ($52.48\% \pm 13.86\%$), suivie du KNR-EGY ($46.90\% \pm 12.68\%$) et du KNR-TUN ($46.27\% \pm 12.42\%$). L'acide gras saturé majoritaire est l'acide palmitique (C16 : 0) indépendamment des aliments. Les acides gras mono-insaturés se retrouvent à des proportions élevées dans la plupart des aliments oléagineux ; soit OLV-TUN ($80.26\% \pm 30.32\%$), ARA-BEN ($78.66\% \pm 20.17\%$), ARA-TUN ($74.39\% \pm 18.24\%$), SSM-BEN ($67.17\% \pm 22.43\%$), CHM-TUN ($69.35\% \pm 17.63\%$). Les mono-insaturés majoritaires sont représentés par le C18:1n-9 et son isomère positionnel C18:1n-11. Ils sont répartis de façon quasi-équimolaire dans ces aliments sauf OLV-TUN et SSM-BEN où la teneur en C18:1n-9 est 5 à 29 fois plus élevée que le C18:1n-11. Des acide gras poly-insaturés, l'acide linoléique (C18:2n-6) est le plus représenté. Il est retrouvé principalement dans les aliments tels que: KNR-TUN ($21.13\% \pm 5.76\%$), KNR-EGY ($20.72\% \pm 5.87\%$), SSM-BEN ($14.83\% \pm 10.38\%$). Le rapport AGPI/AGS donne les résultats suivants : ARA-BEN (0.24), ARA-TUN (0.32), PLM-BEN (0.15), OLV-TUN (0.00), SSM-BEN (0.93), CHM-TUN (0.81), FMG-BEN (0.02), FMG-TUN (0.04), KNR-EGY (0.44), KNR-TUN (0.46). Le tableau II présente la composition générale en acides gras saturés, monoinsaturés et polyinsaturés des aliments analysés.

Tableau II : Composition générale en acides gras saturés, mono-insaturés et poly-insaturés des aliments analysés

	<i>ARA-BEN</i>	<i>ARA-TUN</i>	<i>PLM-BEN</i>	<i>OLV-TUN</i>	<i>SSM-BEN</i>	<i>CHM-TUN</i>	<i>FMG-BEN</i>	<i>FMG-TUN</i>	<i>KNR-EGY</i>	<i>KNR-TUN</i>
	Moyenne ± Ecart-type									
AGS										
C10:0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	2.56 ± 0.14	2.13 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.01 ± 0.00
C12:0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.04 ± 0.02	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	2.82 ± 0.16	3.99 ± 0.00	0.39 ± 0.00	0.38 ± 0.00
C13:0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.01	0.09 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
C14:0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.53 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	10.23 ± 0.15	11.34 ± 0.00	1.22 ± 0.00	1.20 ± 0.00
C15:0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.522 ± 0.01	1.37 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.19 ± 0.00
C16:0	12.39 ± 0.40	13.57 ± 0.01	48.28 ± 0.33	16.17 ± 0.05	14.90 ± 0.08	13.75 ± 0.07	34.32 ± 0.06	30.29 ± 0.00	44.15 ± 0.07	43.26 ± 0.00
C17:0	0.12 ± 0.06	0.32 ± 0.00	0.26 ± 0.04	0.07 ± 0.09	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.06	2.15 ± 0.14	3.61 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.03 ± 0.00
C18:0	0.03 ± 0.01	0.13 ± 0.00	3.33 ± 1.71	0.01 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.03	20.15 ± 0.22	17.61 ± 0.00	0.98 ± 0.00	1.10 ± 0.00
C20:0	0.37 ± 0.52	0.31 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.08 ± 0.06	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.03 ± 0.00
C22:0	2.07 ± 0.06	1.99 ± 0.00	0.01 ± 0.01	0.16 ± 0.00	0.37 ± 0.12	0.06 ± 0.04	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00
C23:0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.04 ± 0.00
C24:0	1.53 ± 0.05	1.55 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.60 ± 0.00	0.52 ± 0.03	0.79 ± 0.07	0.01 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00
Total AGS	16.51 ± 4.79	17.86 ± 5.24	52.48 ± 13.86	17.04 ± 6.53	15.96 ± 6.00	14.81 ± 5.53	73.81 ± 10.68	70.54 ± 9.42	46.90 ± 12.68	46.27 ± 12.42
AGMI										
C14:1n-5	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.18 ± 0.04	0.99 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00
C15:1n-5	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.79 ± 0.02	0.76 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.08 ± 0.00
C16:1n-7	0.12 ± 0.02	0.47 ± 0.00	0.01 ± 0.01	2.17 ± 0.01	0.14 ± 0.00	0.17 ± 0.04	2.18 ± 0.15	1.84 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.28 ± 0.00
C17:1n-7	0.46 ± 0.06	1.67 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.19 ± 0.21	0.05 ± 0.05	0.20 ± 0.12	0.90 ± 0.04	0.92 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.03 ± 0.00
C18:1n-11	34.57 ± 0.50	33.09 ± 0.03	0.11 ± 0.08	2.62 ± 0.01	10.11 ± 0.35	33.59 ± 0.38	1.12 ± 0.02	3.76 ± 0.00	17.44 ± 0.03	16.85 ± 0.00
C18:1n-9	43.25 ± 1.47	38.57 ± 0.03	0.00 ± 0.00	75.22 ± 0.22	56.25 ± 0.19	35.02 ± 1.76	12.92 ± 0.12	10.81 ± 0.00	13.28 ± 0.09	13.02 ± 0.20
C20:1n-9	0.17 ± 0.01	0.23 ± 0.00	38.91 ± 1.71	0.03 ± 0.00	0.45 ± 0.04	0.18 ± 0.16	0.02 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.05 ± 0.00
C22:1n	0.09 ± 0.06	0.36 ± 0.00	0.02 ± 0.02	0.03 ± 0.00	0.17 ± 0.02	0.18 ± 0.08	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00
C24:1n-9	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.28 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.03 ± 0.00
Total AGMI	78.66 ± 20.17	74.39 ± 18.24	39.06 ± 14.70	80.26 ± 30.32	67.17 ± 22.43	69.35 ± 17.63	18.11 ± 4.37	19.45 ± 3.58	30.88 ± 6.84	30.36 ± 6.62
AGPI										
C18:2n-6	3.73 ± 0.16	5.27 ± 0.00	7.39 ± 0.05	0.03 ± 0.01	14.76 ± 0.13	11.73 ± 0.04	1.29 ± 0.05	1.32 ± 0.00	20.35 ± 0.13	20.04 ± 0.00
C18:3n-6	0.24 ± 0.00	0.51 ± 0.00	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.08 ± 0.03	0.26 ± 0.32	0.02 ± 0.00	0.31 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.47 ± 0.00
C18:3n-3	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.13 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.03 ± 0.00
C20:2n-6	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.17 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.00
C20:3n-6	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.16 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.06 ± 0.00
C20:3n-3	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.15 ± 0.05	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.14 ± 0.00	0.27 ± 0.00
C20:4n-6	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.44 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.04 ± 0.00
C20:5n-3	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.03 ± 0.00
C22:2n-6	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.07 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.04 ± 0.00
C22:4n-6	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.06 ± 0.00
C22:5n-6	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.03 ± 0.00
C22:6n-3	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.04 ± 0.00
Total AGPI	3.98 ± 2.47	5.78 ± 3.37	7.63 ± 2.13	0.06 ± 0.00	14.83 ± 10.38	11.98 ± 8.11	1.50 ± 0.37	2.69 ± 0.37	20.72 ± 5.87	21.13 ± 5.76
AGT										
Total AGT	0.80 ± 0.05	2.02 ± 0.14	0.82 ± 0.18	0.16 ± 0.02	2.26 ± 0.26	3.06 ± 0.54	6.54 ± 1.19	7.30 ± 0.71	1.51 ± 0.22	2.24 ± 0.26

4.2 Composition en AGT par 100 g d'aliments consommés

Parmi les dix échantillons d'aliments analysés, le taux d'AGT (> 1%) pour 100 g d'huile a été détecté dans 7 aliments soit 70% des échantillons analysés, dont 6 présentaient AGT (> 2%) soit 86 %. La composition en AGT de ARA-BEN, ARA-TUN, PLM-BEN, OLV-TUN, SSM-BEN, CHM-TUN, FMG-BEN, FMG-TUN, KNR-EGY, KNR-TUN sont présentés dans le tableau III. La valeur des AGT par rapport au acides gras totaux sont respectivement : 0.8 %, 2.02%, 0.82%, 0.16%, 2.26%, 3.06%, 6.54%, 7.30%, 1.51% et 2.24%. Par ailleurs pour 100g d'aliments consommés les AGT (> 1%) sont détectés dans trois aliments soit 30% des échantillons analysés. Les produits laitiers (tableau IV) représentaient la catégorie d'AGT la plus élevée: FMG-BEN (1.83%), FMG-TUN (1.75%); suivi d'ARA-TUN (1.09 %). Dans les sept autres échantillons soit 70% les AGT (< 1%) ont été détectés respectivement dans PLM-BEN (0.82 %), SSM-BEN (0.99 %), CHM-TUN (0.73 %-0.92 %), KNR-TUN (0.76%), ARA-BEN (0.39%), KNR-EGY (0.36%) et OLV-TUN (0.16 %).

Tableau III : Profil des AGT identifiés dans les aliments analysés

	<i>ARA-BEN</i>	<i>ARA-TUN</i>	<i>PLM-BEN</i>	<i>OLV-TUN</i>	<i>SSM-BEN</i>	<i>CHM-TUN</i>	<i>FMG-BEN</i>	<i>FMG-TUN</i>	<i>KNR-EGY</i>	<i>KNR-TUN</i>
	Moyenne ±									
	Ecart-type									
C14:1n-5t	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.37 ± 0.03	0.21 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.11 ± 0.00
C16:1n-7t	0.05 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.02 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.01 ± 0.00	0.34 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.07 ± 0.01
C18:1, 9t	0.02 ± 0.00	0.19 ± 0.06	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.47 ± 0.07	1.05 ± 0.11	0.04 ± 0.02	0.39 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.06 ± 0.00
C18:1, 11t	0.14 ± 0.01	0.37 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.11 ± 0.01	0.07 ± 0.03	1.18 ± 0.05	2.47 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.00
Total C18:1	0.17 ± 0.09	0.56 ± 0.12	0.01 ± 0.00	0.03 ± 0.01	0.59 ± 0.25	1.12 ± 0.70	1.23 ± 0.81	2.85 ± 1.47	0.06 ± 0.00	0.08 ± 0.03
C18:2,10t,12c	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.13 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.07 ± 0.00
C18:2, 9t,12t	0.10 ± 0.09	0.39 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.33 ± 0.00	1.08 ± 0.26	4.30 ± 0.20	0.93 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.03 ± 0.00
C18:2, 9c,12t	0.12 ± 0.02	0.35 ± 0.07	0.04 ± 0.02	0.01 ± 0.00	0.13 ± 0.08	0.21 ± 0.08	0.04 ± 0.02	1.55 ± 0.00	0.65 ± 0.06	0.79 ± 0.20
C18:2, 9t,12c	0.16 ± 0.00	0.18 ± 0.00	0.04 ± 0.03	0.02 ± 0.00	0.83 ± 0.19	0.14 ± 0.04	0.05 ± 0.03	0.65 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.06 ± 0.00
C18:2, 9c,11t	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.14 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.05 ± 0.00
Total C18:2	0.38 ± 0.03	0.91 ± 0.11	0.10 ± 0.02	0.04 ± 0.01	1.29 ± 0.36	1.43 ± 0.53	4.41 ± 1.91	3.41 ± 0.59	0.77 ± 0.28	0.98 ± 0.33
C18:3 ω3	0.07 ± 0.01	0.40 ± 0.00	0.02 ± 0.02	0.02 ± 0.00	0.22 ± 0.05	0.35 ± 0.28	0.36 ± 0.03	0.06 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.09 ± 0.00
C20:1n-9t	0.13 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.14 ± 0.02	0.10 ± 0.11	0.15 ± 0.07	0.13 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.19 ± 0.00
C20:5n-3t	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.18 ± 0.00	0.56 ± 0.00	0.70 ± 0.00
C22:6n-3t	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.02	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00
Total AGT	0.80 ± 0.14	2.02 ± 0.37	0.82 ± 0.26	0.16 ± 0.02	2.26 ± 0.50	3.06 ± 0.54	6.54 ± 1.19	7.30 ± 0.71	1.51 ± 0.22	2.24 ± 0.26

Tableau IV : Composition des aliments (Bénin, Egypte et Tunisie) analysés (g/100 g)

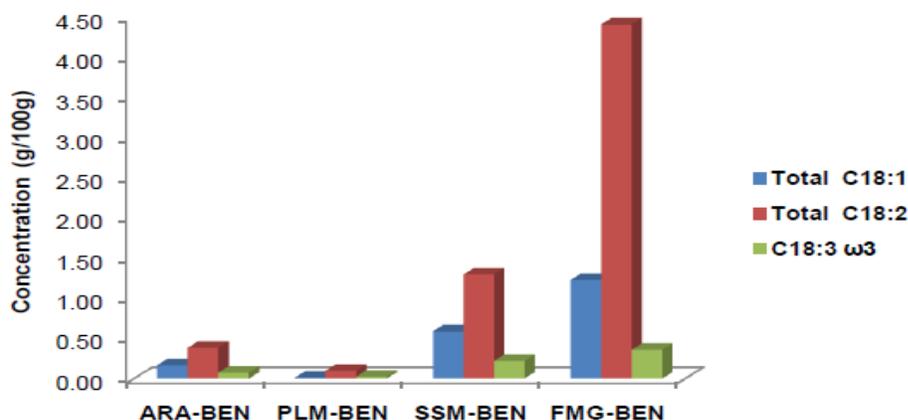
Aliments (ingrédients)	Total lipides (g/100 g d'aliment)	AGT (g/100 g d'aliment)
ARA-BEN	48	0.39
ARA-TUN	54	1.09
SSM-BEN	44	0.99
CHM-TUN	24-30	0.73 - 0.92
FMG-BEN	28	1.83
FMG-TUN	24	1.75
KNR-EGY	24	0.36
KNR-TUN	34	0.76
PLM-BEN	100	0.82
OLV-TUN	100	0.16

4.2.1 Aliments provenant du Bénin

Les principaux isomères d'AGT présents dans les aliments habituellement consommés au Bénin (ARA-BEN, PLM-BEN, SSM-BEN, FMG-BEN) étaient C18: 1,9 t ; C18: 1,11 t ; C18: 2,9 t, 12t ; C18: 2,9 c, 12t ; C18: 2,10 t, 12c ; C18: 2,9 c, 11t ; C18: 3,9c 15c, 12t (tableau III).

Apport en C18 : 1

Une consommation égale à 100g d'aliment apporte respectivement en AGT (C18: 1) : ARA-BEN (0.08 %), PLM-BEN (0.01 %), SSM-BEN (0.26 %), FMG-BEN (0.34 %). Le fromage et le sésame sont les deux aliments qui apportent le plus d'acide gras C18: 1 dans l'alimentation (Figure 9).

**Figure 9** : Composition des aliments habituellement consommés au Bénin en C18: 1, C18: 2 et C18:3

Apport en C18 : 2

Une consommation égale à 100g d'aliment apporte respectivement en AGT (C18: 2) : ARA-BEN (0.18 %), PLM-BEN (0.10 %), SSM-BEN (0.57 %), FMG-BEN (1.23 %). Le fromage et le sésame sont les deux aliments qui apportent le plus d'acide gras C18: 2 dans l'alimentation (Figure 9).

Apport en C18 : 3

Une consommation égale à 100g d'aliment apporte respectivement en AGT (C18: 3) : ARA-BEN (0.03 %), PLM-BEN (0.02 %), SSM-BEN (0.10 %), FMG-BEN (0.10 %). Le fromage et le sésame sont les deux aliments qui apportent le plus d'acide gras C18: 3 dans l'alimentation (Figure 9).

4.2.2 *Composition en AGT des huiles de palme et arachide*

L'AGT majoritaire de l'huile de palme est l'acide eicosapentaénoïque communément appelé EPA (C20 : 5) dans une proportion de 80.86 % par rapport aux AGT totaux (figure 10). On y retrouve également du C18 :2 (11.83 %) et du C18 :3 (2.73 %).

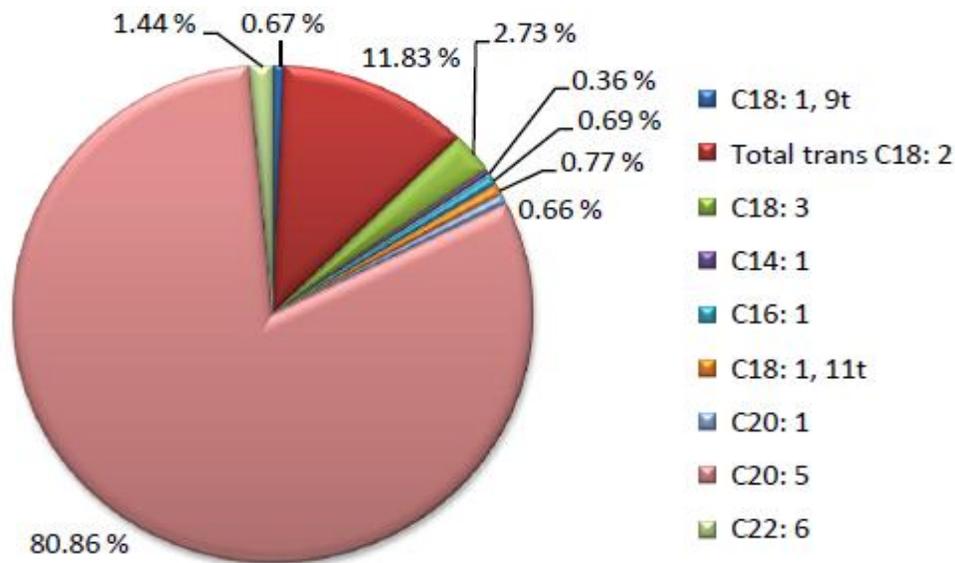


Figure 10 : Composition en AGT de PLM-BEN

L'AGT majoritaire de l'huile d'arachide est représenté par les isomères de l'acide linoléique C18 :2 (47.59 %) On y retrouve également d'autres AGT comme : l'acide vaccénique C18 :1, 11t et de l'acide gadoléique C20 :1 dans des proportions respectives de 17.81 % et la 16.65 % (figure 11).

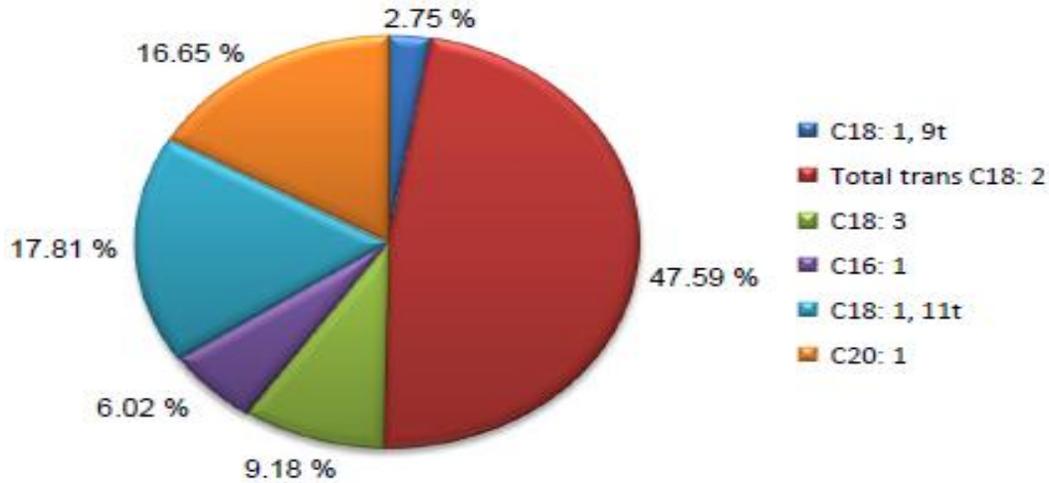


Figure 11 : Composition en AGT d'ARA-BEN

4.2.3 Aliments industriels

Huile d'olive (OLV-TUN)

L'AGT majoritaire de l'huile d'olive est l'acide palmitoléique C16 :1 dans une proportion de 35.88 % par rapport aux AGT totaux (figure 12). On y retrouve également d'autres AGT tels que les isomères de l'acide linoléique C18 :2 (26.20 %) suivi de l'acide vaccénique C18 :1, 11t (11.34 %).

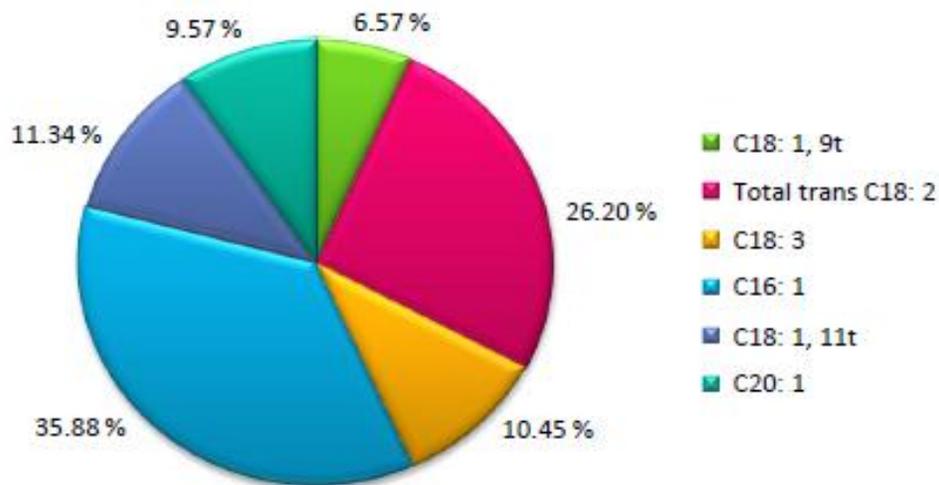


Figure 12 : Composition en AGT d' OLV-TUN

Autres aliments industriels

Les acides gras majoritaires dans le Chamia sont respectivement l'acide oléique (34.74 ± 1.52 %), l'acide palmitique (13.72 ± 0.47 %) et l'acide linoléique (11.54 ± 0.33 %). Les AGT majoritaires du CHM-TUN sont : le C18: 2, 9 t, 12c (1.08%) soit 35.29% des AGT totaux et le C18: 1, 9 t (34.31%). Cette répartition reste identique dans le KNR-TUN et KNR-EGY à quelques différences près. Les AGT du KNR-TUN et KNR-EGY représentent respectivement 2.24 % et 1.51 % des acides gras totaux (Tableau IV). Les AGT majoritaires sont les mêmes aussi bien dans le KNR-TUN que dans le KNR-EGY. Néanmoins ces acides gras s'y retrouvent à des proportions différentes. L'isomère majoritaire de l'acide linoléique identifié est le C18:2, 9c, 12t ; soit KNR-TUN (35.27 %) des AGT totaux et KNR-EGY (43.05 %). Par ailleurs l'isomère C18 :2, 10t, 12c est six fois plus importante dans le Knorr tunisien que celui de l'Egypte (tableau III). Cette différence apparaît nettement sur les profils chromatographiques des esters méthyliques d'acides gras (Figure 15 et 16 /Annexes). Une consommation de 100g de Knorr rapporte deux fois plus d'AGT quand l'on transite de l'Egypte en Tunisie (Tableau IV).

4.3 Effet du traitement thermique dans la genèse des AGT

4.3.1 Effet de la chaleur sur l'huile de palme

L'huile de palme, PLM-BEN a été chauffée à 180°C pendant 300 min. Initialement le taux d'AGT dans PLM-BEN était égale 0.82 % des acides gras totaux. Une augmentation des AGT en fonction du temps de chauffage en général est notée avec quelques fluctuations. Il est important de remarquer que le taux le plus élevé d'AGT est observé à 240 minutes de chauffage avec une valeur de 4.25 % des acides gras totaux, soit cinq fois la valeur initiale. Les taux maximum de C 18 : 1 et C 18 : 2 sont obtenues à 240 min de traitement. Le minima d'AGT est obtenu à 150 min pour une valeur égale 0.81% (Figure 13,14).

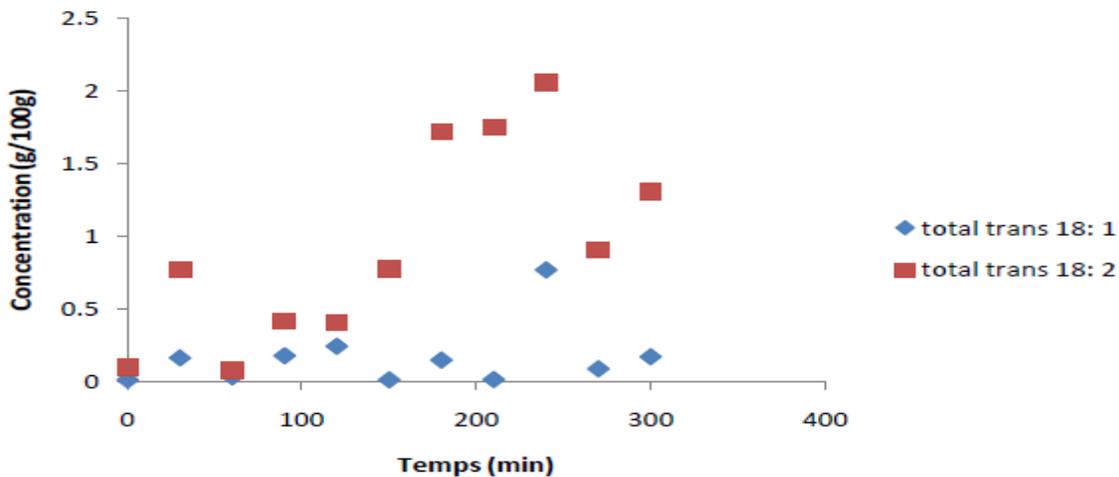


Figure 13 : Variation de la teneur en C18: 1 et C18: 2 dans l'huile de palme en fonction du temps et de la température

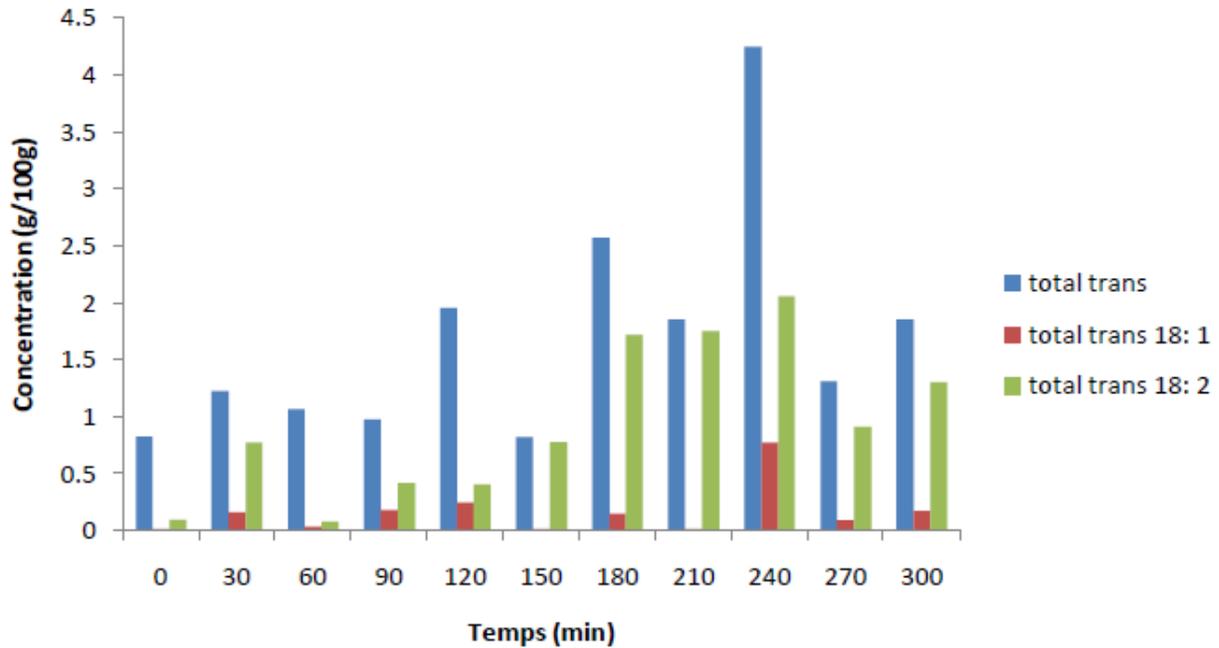


Figure 14 : Variation de la teneur en C18: 1, C18: 2 et total trans dans l'huile de palme en fonction du temps et de la température

4.3.2 Comparaison entre produit traditionnel et industrielle (FRO-BEN et FRO-TUN)

L'AGT majoritaire dans le fromage du Bénin est C18:2, 9t, 12t avec une proportion de 66% des AGT totaux tandis que dans le fromage Tunisien c'est la C18: 1,11 t avec 34%. Dans les deux fromages le taux des AGT C18: 2 est supérieur au taux de C18: 1. Dans le cas du fromage du Benin la valeur de l'acide C18: 2 est 3,6 fois plus élevée que celle du C18: 1 tandis que celle de la Tunisie est 1,2 fois plus élevée (tableau III). La teneur en C18: 1 dans le fromage du Bénin est 19 % et dans le fromage de Tunisie 39%. L'acide vaccénique C18: 1,11 t se trouve à une teneur de 18.04 % des AGT totaux et à 96 % des 18 : 1 trans totaux dans le fromage Bénin et à 86 % dans le fromage tunisien.

5 Discussion

La recherche du profil des acides gras issus de la transformation de quelques denrées alimentaires habituellement consommées au Bénin, en Tunisie et en Egypte a motivée cette étude. Les denrées alimentaires béninoises non-transformées/transformées seraient aussi riches en AGT que celles d'ailleurs. Le mode de cuisson des aliments au Bénin augmenterait le risque/l'incidence des MNT.

5.1 Composition des aliments

La teneur globale en AGT montre d'énormes différences avec d'autres études. Les valeurs semblent dans ce cas très élevées pour le sésame et moins élevées pour les huiles de palme et d'olive comparativement aux analyses faites à Costa Rica [8]. Toutefois, il est important de préciser que les graines oléagineuses et les huiles vierges contiennent peu d'AGT à l'origine [23]. La prédominance des AGT C18:2 dans cette étude, en particulier l'isomère C18:2, 9t, 12c concorde aux études antérieures [38]. Les deux isomères trans (C18: 2, 9 c, 12t et C18: 2, 9 t, 12c) de l'acide linoléique ont été identifiés dans les matières grasses non hydrogénées à des concentrations similaires voire mêmes supérieures à celle de l'isomère trans C18: 2,9 t, 12t [39]. Ce dernier n'est obtenu qu'à des températures très élevées résultat d'une hydrogénation catalytique. Sa présence (C18: 2,9 t, 12t) est bien justifiée dans le fromage FMG-BEN compte tenu du traitement appliqué.

L'isomère C18 :2, 10t, 12c, six fois plus important dans le KNR-TUN que KNR-EGY diminuerait non seulement le taux de cholestérol HDL, VLDL, et pourrait provoquer une insulino-résistance [23]. Cette différence est le produit de l'hydrogénation partielle ; technique qui par ailleurs sera responsable de la genèse des 18:1 9t [3, 5,16, 23].

La présence de l'acide élaïdique du CHM-TUN semble indirectement controversée. En effet une étude récente effectuée dans notre laboratoire⁴ n'a retrouvé aucune trace de cet acide dans la pâte de sésame (*Sesamum indicum* L) naturelle précurseur du CHM-TUN. Cette différence pourrait se justifier par une provenance étrangère de la pâte de sésame entrant dans la composition du CHM-TUN analysé. Par ailleurs on sait que la saison de récolte joue également un rôle dans la teneur des végétaux en AGT [23]. Malgré cette divergence le sésame semble le seul dont le ratio AGPI/AGS respecte les lignes directrices alimentaires actuelles. Mais vu que ce rapport ne tient pas compte des acides gras mono-insaturés, l'huile d'olive à vertus bénéfiques se voit exclu.

⁴ Dhibi M, Mechri B, Cheraif I, Hammami M. Trans fatty acid isomers in two sesame (*sesamum indicum* L.) See Byproducts under Processing. J. Agric. Food Chem. 2010 ; 58, 12210-5

5.2 Effet de la chaleur sur l'huile de palme

Dans cette étude la perte considérable de l'insaturation cis et l'augmentation des AGT montre l'impact de la chaleur sur la configuration des acides gras, comme précédemment décrit par la littérature [16]. L'insaturation di (ène) dans le cas de l'acide linoléique est très sensible à l'isomérisation dans ce travail contrairement aux études antérieures [23], soit à la dégradation. Cette nouvelle différence pourrait s'expliquer par le contact avec l'air qui quant à lui est responsable de la formation de composés oxydés fortement catalysés par la chaleur [6]. Ces acides oxydés peuvent eux-mêmes sous l'effet de la chaleur, se dimériser, se polymériser voire subir toutes ces réactions chimiques à la fois [6,23]. En parallèle, les acides gras insaturés oxydés ou non, se polymérisent bien plus, plus qu'ils ne se coupent ou se cyclisent. Les doubles liaisons peuvent se modifier mais surtout se déplacent pour former des acides gras conjugués ou *trans* [23]. Dans notre étude, le mode de traitement utilisé est la friture profonde à l'étuve dans des conditions plus ou moins drastiques selon le cas (100° - $180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) et des temps d'application plus ou moins longs. Des réactions purement thermiques sont favorisées étant donné la quantité d'huile importante par rapport à l'aliment ; ce qui s'aligne avec les données des études antérieures [6]. Le C18 : ω 3 cis est beaucoup plus sensible à un chauffage brutal élevé qu'à un chauffage relativement doux et long. En revanche la réapparition soudaine du C18 :2, 9c, 12c après sa disparition serait due à une erreur du chromatogramme. La forte synthèse du C18 : 9t, 12t, 15t justifie le rôle de la chaleur comme facteur essentiel à l'isomérisation de l'acide alpha-linolénique. Ceci correspond aux investigations de nombreux auteurs [23]. Le niveau de dégradation de l'huile dépend en effet de nombreux paramètres : température, durée de chauffage, mode de chauffage, nombre de cycles d'utilisation, composition de l'huile, volume d'huile, nature des matériaux, texture et teneur en eau des aliments [6]. Dans l'un ou l'autre des cas, cette étude se retrouve dans l'une des conditions décrites ci-dessus.

5.3 Comparaison entre produit traditionnel et industriel (FRO-BEN et FRO-TUN)

Les taux d'acide vaccénique trouvé dans le FMG-TUN ne semble pas s'aligner aux taux signalés antérieurement par divers auteurs. En effet il a été rapporté que l'AGT majoritaire dans la matière grasse ruminale est l'acide vaccénique 18:1 11t (30 à 50 % des 18:1-*trans* totaux) [21]. Dans cette étude, la teneur les valeurs du C18:1, 11t apparaissent largement au dessus celles trouvée dans ces études antérieures. Mais il est important de préciser qu'il existe également des variations saisonnières importantes dues au type d'alimentation du bétail si bien qu'en fonction du type d'alimentation, le taux des C18 :1 peut varier du simple au double. On peut donc noter in passage du taux de 18:1, 11t de 1 g à 3 g pour 100 g d'AG totaux en passant de la période de stabulation au pâturage [23]. En dépit de ces paramètres la race du bétail peut également y jouer un rôle. Les matières grasses d'origine laitière présentent des teneurs variables en 18:1 *trans* selon les espèces laitières de sorte que les différences de la composition en AGT sont plus importantes chez les ovins et caprins que les bovins [23]. Par ailleurs dans le FMG-BEN, le taux du C18:

2,9 t, 12t est largement au dessus de celui du 18:1, 11t. Ce paramètre semble nouveau dans les études relatives aux AGT des matières grasses laitières. Ceci pourrait s'expliquer par l'effet de la chaleur appliqué sur la matière grasse laitière qui dans l'un des cas est l'hydrogénation catalytique industrielle et dans l'autre un traitement thermique ménager. Contrairement à l'hydrogénation catalytique, le chauffage induit peu d'isomères 18:1-*trans*, mais surtout des acides di- et tri-énoïques [16, 23]; ce qui concorde aux résultats relatifs au FMG-BEN. 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 [23]. Ceci justifie l'effet de la température. Il paraît aussi important de relever que le temps d'application de la source thermique importe beaucoup. En effet dans une des nombreuses études sur les AGT, il a été rapporté que la composition en matières grasses laitières portée à des températures de 200 – 225°C pendant 15 minutes présentait une faible variation [23].

La faible proportion de l'acide octadécatriénoïques (18:3) s'explique par leur faible présence dans le rumen des ruminant et surtout que ces acides sont certainement moins sensible à l'isomérisation. En effet ces acides gras de la ration alimentaire des ruminants semblent constituer un facteur essentiel dans la mesure où, ils participent à leur production d'AG 18:1-*trans* dans la matière grasse laitière par la voie de la Δ 9-désaturase mammaire [23]. Si une consommation de 5 g d'AGT par jour est associée à une augmentation de 25% dans le risque de maladie cardiaque ischémique [19], la consommation de ce type de fromage serait associée à une pathologie cardiaque et le risque serait plus élevé chez les hommes que les femmes [39]. Au niveau du fromage tunisien les normes ne sont toujours pas respectées on retrouve un taux supérieur à 1% ; ce qui augmenterait le risque cardiovasculaire de 23 % [16].

Conclusion et recommandations

Ce travail avait pour but de caractériser quelques denrées alimentaires non-transformées/transformation habituellement consommées au Bénin et ailleurs. Les disparités trouvées lors de la comparaison des aliments de la même famille entre pays, montre l'intérêt de disposer d'informations alimentaires spécifiques par pays. Les AGT sont insignifiants dans la plupart des oléagineux étudiés. En comparaison avec la Tunisie, les oléagineux (palme, arachide) disponibles dans le commerce au Bénin contiennent moins d'AGT. Mais les différents procédés de traitement thermique (friture répétée et chauffage), temps et conditions utilisés en technique culinaire, vont générer des AGT. Le chargement graduel en AGT à travers la série de friture a été la conséquence directe de l'addition d'aliments à l'huile. Ces modifications importantes suggèrent des effets possibles de transfert de masse et chaleur lors de la friture. Ces modalités de cuisson expliquent les taux d'AGT qui pour le Bénin est largement au dessus des recommandations de l'OMS. Une consommation excessive en AGT a été démontrée par de nombreuses études expérimentales sur animaux et des enquêtes nutritionnelles réalisées auprès de la population comme néfaste la santé ; surtout la santé cardio-vasculaire. Dès lors, la table de composition des aliments aiderait à améliorer les choix alimentaires dans la population. Ce sera un outil ultime de marketing social dans la prise en charge de l'éducation nutritionnelle en occurrence des acteurs de l'alimentation de rue. Le ministère de la santé et le département nutrition ne semblent pas alerte sur le sujet. En dépit des efforts fournis par les industries agro-en vue de la réduction de l'abondance de ces AGT dans l'assiette du consommateur, un gros défi reste à relever. Même si nous n'avons pas analysé d'énormes produits provenant des industries agro-alimentaires, nous pouvons remarquer que sur les quatre aliments analysés, un seul a été détecté à plus en 1% en AGT. Les AGT même d'origine « naturelle » soumis à la chaleur pourraient ne pas être exemptes d'effets nocifs. En effet, devant les différentes familles d'AG et d'AGT, tous les consommateurs ne sont pas égaux. Cela suggère une enquête individuelle de consommation alimentaire qui jusque là n'a jamais encore été menée. Des objectifs précis en termes de sécurité alimentaire doivent être posés aux laboratoires d'analyse et de contrôle avec des recommandations réalisables tout en prenant en considération des notions de préparation des échantillons et le coût des analyses.

Enfin, il serait souhaitable par ailleurs au Bénin d'entreprendre une étude de conciliation de l'impact de la transition alimentaire et l'évaluation de la teneur en AGT d'origine alimentaire chez les patients souffrant de pathologies chroniques comme les MCV, maladies neurodégénératives voire même certains types de cancer et le vieillissement. Des facteurs démographiques socioéconomiques indirects permettraient l'appréciation de ces risques. En amont de ces nouvelles investigations, la consommation d'aliments locaux, mais seulement dans la mesure où ils sont peu transformés, peuvent faire partie de la solution.

Références bibliographiques

- [1] Abrahams Z, Mchiza Z, Steyn NP. Diet and mortality rates in Sub-Saharan Africa: Stages in the nutrition transition. *BMC Public Health*. 2011; 11:1—12.
- [2] Vorster HH, Kruger A, Margetts BM. The Nutrition Transition in Africa: Can It Be Steered into a More Positive Direction ?. *Nutriments*. 2011 Avril; 3 : 429—41.
- [3] Albuquerque TG, Costa HS, Castilho MC, Sanches-silva A. Trends in Analytical methode for the determination of trans fatty acids content in foods. *Trends in Food Science & Technology*. 2011 ; 22 : 543—60.
- [4] Wang Y, Jacome-Sosa MM, Proctor SD. The role of ruminant trans fat as a potential nutraceutical in the prevention of cardiovascular disease. *Food Research International*. 2012; 46: 460—468.
- [5] Bhardwaj S, Passi SJ, Misra A. Overview of trans fatty acids: Biochemistry and health effects. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 2011; 5: 161—4.
- [6] Combe N, Rossignol-castera A. Vegetable oils and frying. *Cah Nutr Diét*. 2010; 45: S44—51.
- [7] Sodjinou RS. Evaluation of food composition tables commonly used in Benin: Limitations and suggestions for improvement. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006 ; 19 : 518—23.
- [8] Ana Baylina, Xinia Siles, Amy Donovan-Palmera, Xinia Fernandez, Hannia Campos. Fatty acid composition of Costa Rican foods including trans fatty acid content. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2007; 20: 182—92.
- [9] Gerber M. The effects of nutrition on longevity. *Médecine & Longévité*. 2010; 2: 168—81.
- [10] Caballero B. Introduction. Symposium: Obesity in developing countries: biological and ecological factors. *J Nutr*. 2001 Mar;131:866S—70S.
- [11] Popkin BM. Nutritional patterns and transitions. *Popul Dev Rev*.1993; 19 : 138—57.
- [12] Delisle H, Ntandou-Bouzitou G, Agueh V, Sodjinou RS, Fayomi B. Urbanisation, nutrition transition and cardiometabolic risk: the Benin study. *Br J Nutr*. 2012; 107: 1534—44.
- [13] Delisle H, Agueh V, Fayomi B. Partnership research on nutrition transition and chronic diseases in West Africa – trends, outcomes and impacts. *BMC International Health and Human Rights*. 2011; 11: 1—8.

- [14] Sodjinou RS, Agueh V, Fayomi B, Delisle H. Dietary patterns of urban adults in Benin: relationship with overall diet quality and socio-demographic characteristics. *Europ J Clin Nutr.* 2009; 63: 222—8.
- [15] Ntandou G, Delisle H, Agueh V, Fayomi B. Abdominal obesity explains the positive rural-urban gradient in the prevalence of the metabolic syndrome in Benin, West Africa. *Nutr Res.* 2009; 29: 180—9.
- [16] Attia-Skhiri N, Fournier N, Pourci ML, Paul JL. Trans fatty acids: effects on lipoprotein metabolism and cardiovascular risk. *Ann Biol Clin.* 2009 ; 67: 517—23.
- [17] Sebedio JL. Acides gras trans : nature, origine et impact sur la santé. *Cah Nutr Diét.* 2007; 42: 239—45.
- [18] Hunter JE, Zhang Jun, Kris-Etherton PM. Cardiovascular disease risk of dietary stearic acid compared with trans, other saturated, and unsaturated fatty acids: a systematic review^{1–4}. *Am J Clin Nutr.* 2010; 91:46—63.
- [19] Stender, S., Dyerberg, J., & Astrup, A. (2006). Consumer protection through a legislative ban on industrially produced trans fatty acids in foods in Denmark. *Scandinavian Journal of Food and Nutrition*, 50, 155—60.
- [20] Chiuve SE, Rimm EB, Manson JE, Whang W, Mozaffarian D, Stampfer MJ et al. Intake of total trans, trans-18:1 and trans-18:2 fatty acids and risk of sudden cardiac death in women. *Am Heart J.* 2009 Nov; 158: 761—7.
- [21] Brouwer IA, Wanders AJ, Katan MB. Effect of Animal and Industrial Trans Fatty Acids on HDL and LDL Cholesterol Levels in Humans – A Quantitative Review. *PLoS ONE.* 2010; 5:1—10.
- [22] Walrand S, Fisch F, Bourre JM. Do saturated fatty acids have the same metabolic effect? *Nutrition clinique et métabolisme.* 2010; 24: 63—75.
- [23] Rapport de l’Afssa. Risques et bénéfices pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments. www.afssa.fr; avril 2005. Afssa 2005.
- [24] Chavarro JE, Rich-Edwards JW, Rosner BA, Willett WC. Dietary fatty acid intakes and the risk of ovulatory infertility^{1–3}. *Am J Clin Nutr.* 2007;85:231—7.
- [25] Grimma MOW, Rothhaara TL, Grösgena S, Burg VK, Hundsdörfera B, Haupenthala VJ et al. Trans fatty acids enhance amyloidogenic processing of the Alzheimer amyloid precursor protein (APP). *J Nutr Biochemistry.* 2012 ; 1—10.

- [26] Phivilay A, Julien C, Tremblay C, Berthiaume L, Julien P, Giguère Y et al. High dietary consumption of trans fatty acids Decreases brain docosahexaenoic acid but does not Alter amyloid- β and tau pathologies in the 3xtg-ad Model of alzheimer's disease. *Neuroscience*. 2009; 159: 296—307.
- [27] Morris MC, Evans DA, Tangney CC, Bienias JL, Schneider JA, Wilson RS et al. Dietary copper and high saturated and trans fat intakes associated with cognitive decline. *Arch Neurol*. 2006 ; 63 : 1085—8.
- [28] Heude B, Ducimetière P, Berr C. Cognitive decline and fatty acid composition of erythrocytemembranes—The EVA Study¹⁻⁴. *Am J Clin Nutr*. 2003; 77: 803—8.
- [29] Selkoe DJ. (2001). Alzheimer's disease: genes, proteins, and therapy. *Physiol Rev*, 81: 741—66.
- [30] Erickson KL, Hubbard NE. Fatty acids and breast cancer: The role of stem cells. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 2010; 82: 237—41.
- [31] Lecerf JM, Cristiani I. Acides gras trans et cancer. *Cah Nutr Diét*. 2004; 39: 41—7.
- [32] Kavanagh K, Sajadian S, Jenkins KA, Wilson MD, Carr JJ, Wagner JD et al. Neonatal and fetal exposure to trans-fatty acid retards early growth and adiposity while adversely affecting glucose in mice. *Nutr Res*. 2010; 30: 418—26.
- [33] Pimentela GD, Liraa FS, Rosaa JC, Oliveiraa JL, Losinskas-Hachula AC, Souza GIH et al. Intake of trans fatty acids during gestation and lactation leads to hypothalamic inflammation via TLR4/NF κ Bp65 signaling in adult offspring. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 2012 ; 23 : 265—71.
- [34] Chavarro JE, Furtado J, Toth TL, Ford J, Keller M, Campos H et al. Trans-fatty acid levels in sperm are associated with sperm concentration among men from an infertility clinic. *Fertil Steril*. 2011; 95: 1794—7.
- [35] Trevizol F, Benvegnú DM, Barcelos RCS, Boufleur N, Dolci GS, Müller LG et al. Comparative study between n-6, trans and n-3 fatty acids on repeated amphetamine exposure: A possible factor for the development of mania. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*. 2011; 97: 560—5.
- [36] No authors listed. Position paper on trans fatty acids. ASCN/AIN Task Force on Trans Fatty Acids. American Society for clinical Nutrition and American Institute of Nutrition. *Am J Clin Nutr*. 1996; 63: 663—70.
- [37] A Aro. Trans-fatty Acids: Health Effects. National Public Health Institute (KTL). 2003; 2324 –30.

[38] Jun-Cai Hou*, Fang Wang, Yu-Tang Wang, Jian Xu, Chun-Wei Zhang. Assessment of trans fatty acids in edible oils in China. *Food Control*. 2012; 25: 211—5.

[39] Sebedio JL, Ratnayake WM.. Analysis of trans mono- and polyunsaturated fatty acids. In A. J. Dijkstra, R. J. Hamilton W. Hamm (Eds.), *Trans fatty acids*. Oxford: Blackwell Publishing. 2008; 102—28.

6 Liste des illustrations

Figure 1 : Evolution mondiale de la consommation des huiles végétales. (Jank, 2006).....	12
Figure 2 : Evolution de la production mondiale des huiles (Drummond, 2005; Gunstone, 2002).....	12
Figure 3 : Stades de la transition nutritionnelle [11].....	13
Figure 4 : Chimie de l'acide linoléique (18:2, 9c, 12c).....	20
Figure 5 : A-l'acide élaïdique (18:1, 9t).....	21
Figure 6 : Isomérisation positionnelle.....	22
Figure 7 : Appareil de CPG.....	34
Figure 8 : Appareil CPG-SM.....	35
Figure 9 : Composition des aliments habituellement consommés au Bénin en C18: 1, C18: 2 et C18:3.....	40
Figure 10 : Composition en AGT de PLM-BEN.....	41
Figure 11 : Composition en AGT d'ARA-BEN.....	42
Figure 12 : Composition en AGT d' OLV-TUN.....	42
Figure 13 : Variation de la teneur en C18: 1 et C18: 2 dans l'huile de palme en fonction du temps et de la température.....	43
Figure 14 : Variation de la teneur en C18: 1, C18: 2 et total trans dans l'huile de palme en fonction du temps et de la température.....	44
Figure 15 : Analyse par chromatographie en phase gazeuse des esters méthyliques d'acides gras totaux de KNR-TUN.....	54
Figure 16 : Analyse par chromatographie en phase gazeuse des esters méthyliques d'acides gras totaux de KNR-EGY.....	55

7 Liste des tableaux

Tableau I : Principaux isomères d'AGT formés suite au processus de transformation dans quelques produits d'alimentaires.....	24
Tableau II : Composition générale en acides gras saturés, mono-insaturés et poly-insaturés des aliments analysés.....	38
Tableau III : Profil des AGT identifiés dans les aliments analysés.....	39
Tableau IV : Composition des aliments (Bénin, Egypte et Tunisie) analysés (g/100 g).....	40

8 Annexes

8.1 Annexe 1 : Profil chromatographique des esters méthyliques d'acides gras de KNR-TUN

File : C:\MSDCHEM\1\DATA\Nadège\KNR-TUN.D
Operator :
Acquired : 20 Jun 2012 10:06 using AcqMethod PAGRAS
Instrument : GC/MS Ins
Sample Name :
Misc Info :
Vial Number: 1

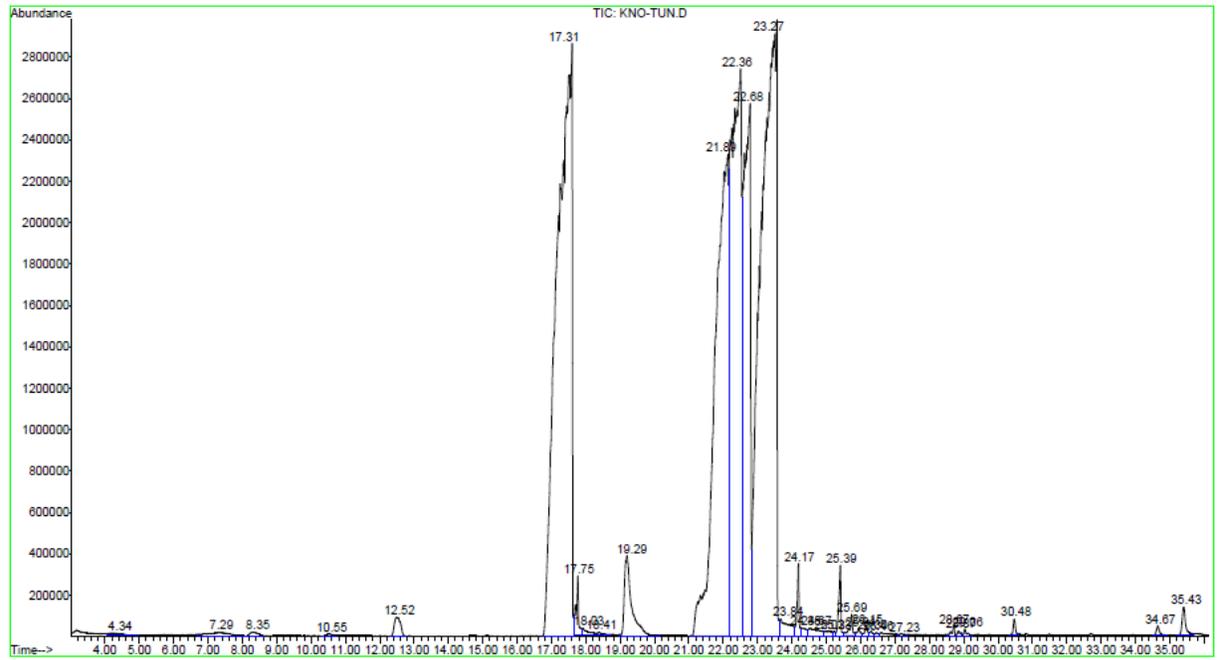


Figure 15: Analyse par chromatographie en phase gazeuse des esters méthyliques d'acides gras totaux de KNR-TUN

8.2 Annexe 2 : Profil chromatographique des esters méthyliques d'acides gras de KNREGY

File : C:\MSDCHEM\1\DATA\Nadège\KNO-EGY.D
Operator :
Acquired : 20 Jun 2012 12:43 using AcqMethod PAGRAS
Instrument : GC/MS Ins
Sample Name :
Misc Info :
Vial Number: 1

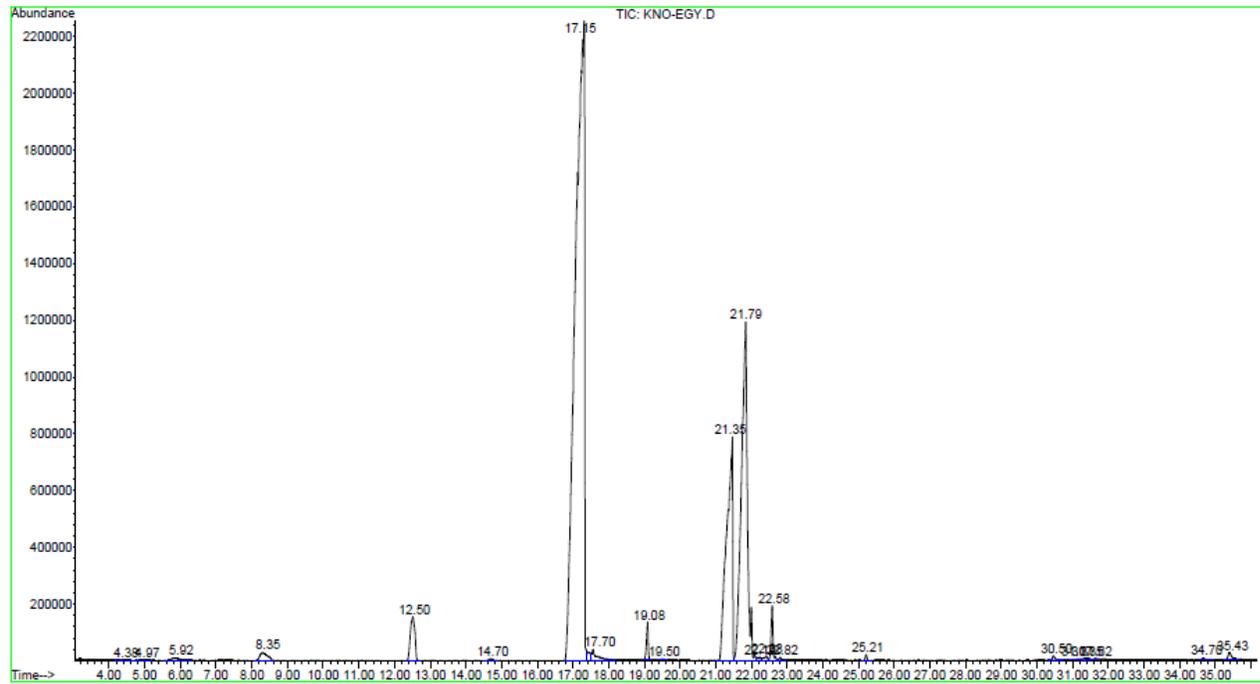


Figure 16 : Analyse par chromatographie en phase gazeuse des esters méthyliques d'acides gras totaux de KNR-EGY