

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union - Discipline – Travail

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



Institut National Polytechnique

Félix HOUPHOUËT-BOIGNY de Yamoussoukro



Ecole Doctorale Polytechnique

THÈSE

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE FELIX HOUPHOUËT-BOIGNY

Mention : Sciences des procédés chimiques alimentaires et environnementaux

Spécialité : Nutrition et Sécurité Alimentaire

Thème :

**EVALUATION QUANTITATIVE DES BENEFCES
NUTRITIONNELS ET DU RISQUE D'HYPERCHOLESTEROLEMIE
LIES A LA CONSOMMATION DES HUILES DE PALME
PRODUITES EN COTE D'IVOIRE**

Présentée et soutenue publiquement le 11 septembre 2019 par

YOBOUE BEHIBOLO ANTOINETTE

JURY

M ADOUBY KOPOIN	Professeur Titulaire INP-HB	Président
Mme ANIN ATCHIBRI A. LOUISE	Professeur Titulaire UNA	Rapporteur
M KRA SEVERIN	Maître de Conférences UFH-B	Rapporteur
M MONDE A. ABSALOME	Maître de Conférences UFH-B	Examineur
M TIAHOU G. GEORGES	Professeur Titulaire UAO	Codirecteur de thèse
M ASSIDJO N. EMMANUEL	Professeur Titulaire INP-HB	Codirecteur de thèse

DEDICACES

Je dédie cette thèse d'abord à **L'ETERNEL DIEU** des armées qui, par le nom de **JESUS CHRIST DE NAZARETH**, m'a accordée la sagesse et l'intelligence jusqu'à ce niveau. Merci **SEIGNEUR** d'avoir fait de moi un témoignage vivant pour la gloire de ton nom.

Ensuite de façon particulière :

-A mon père **KOFFI Yoboué** et à ma mère **KOUADIO N'Guessan**, tous deux arrachés trop tôt à notre affection. Cette œuvre vous est dédiée à titre posthume;

-A mon grand frère **YOBOUE Kouamé Olivier** qui m'a toujours montré son abnégation à me voir réussir. Trouve ici l'expression de l'affection que j'ai pour toi. Que Dieu t'accorde une longue vie;

-A ma fille **KOUASSI Yamiensa Nadia** pour sa patience, sa compréhension, ses prières, son amour et son aide. Maman t'aime. Ta présence est pour moi un réconfort;

-A **tous les membres des familles YOBOUE et KOUADIO** qui ont été compréhensifs et présents à mes côtés. Que ce travail soit le couronnement d'une mission bien remplie;

-A papa **Ebélé ADIOYE** et son épouse **VANIE Lou Néné Marie-ADIOYE** qui m'ont soutenue et orientée à tous les niveaux de ma vie. Votre présence est pour moi une grande consolation;

- **A maman Essan Bla Zita N'GORAN-AW**, qui m'a adoptée, soutenue et conseillée. Maman, reçois ce travail comme la récompense de ton amour et de tes prières;

-A **toute la famille de l'église Baptiste Missionnaire** dont le soutien spirituel, moral, financier et affectif a été sans faille toutes ces années.

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé au Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN) de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) et au laboratoire de recherche de SANIA. Au moment de sa présentation, il convient de témoigner ma reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont participé à sa réalisation.

J'adresse mes sincères remerciements au **Professeur YAO Kouassi Benjamin**, Directeur de l'Ecole Doctorale Polytechnique (EDP) pour m'avoir permis d'intégrer cette école et de vivre une très belle expérience dans le cadre de ma formation. Recevez l'expression de ma sincère gratitude.

Il m'est particulièrement agréable de remercier le **Professeur ASSIDJO Nogbou Emmanuel**, co-directeur de ce travail et responsable du laboratoire de Nutrition et Technologies Alimentaires (NTA). Je voudrais vous témoigner toute ma reconnaissance pour m'avoir accueillie dans votre équipe de recherche. Ce travail représente l'aboutissement d'une longue et fructueuse collaboration dans laquelle vous m'avez conduite avec excellence, rigueur et enthousiasme. Recevez l'expression de ma profonde considération. Que DIEU vous comble de toutes ses grâces.

Depuis le début du master, mes activités de recherche ont été encadrées au quotidien, par le Professeur **TIAHOU Gnomblessou Georges** et aujourd'hui co-directeur de cette thèse. Son expérience, sa pédagogie et sa patience m'ont permis d'apprendre énormément de choses et de mener à bien ce travail. Que ce soit dans l'orientation de mes activités de recherche ou dans toutes sortes d'occasions, ses conseils m'ont toujours été très précieux et je lui en suis infiniment reconnaissante. Que le Seigneur vous bénisse abondamment.

Aux membres de jury,

Toute ma reconnaissance et ma gratitude aux membres du jury :

A Monsieur le Président, **Monsieur ADOUBY Kopoin**, Professeur Titulaire à L'INP-HB de m'avoir fait l'honneur d'être le Président de jury de cette thèse.

A Madame **ANIN Atchibri Anin Louise**, Professeur Titulaire à l'Université Nangui Abrogoua qui, malgré ses multiples occupations, nous a accordé une attention très particulière, pour sa disponibilité et sa contribution scientifique à l'instruction, de ce travail.

A Monsieur **KRA Kouassi A. Severin**, Maître de Conférences à l'Université Félix Houphouët Boigny pour l'attention et le temps qu'il a consacré à l'instruction de ce travail, malgré ses obligations.

A Monsieur **MONDE Aké Absalome**, Maître de Conférences Agrégé à l'Université Félix Houphouët Boigny d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Mes chaleureux remerciements vont à l'endroit du **Docteur SORO Doudjo**, enseignant chercheur à l'INP-HB et Directeur des études de l'EDP, pour son temps qu'il ne compte pas, ses encouragements et ses précieux conseils... J'ai de la chance de vous avoir comme père. Je ne serais pas arrivée jusque-là sans votre aide. Merci pour tout ce que vous m'avez apporté aussi bien au niveau scientifique qu'humain.

Je remercie sincèrement **M. KAPONGO Bertin**, chef du laboratoire de recherche de SANIA pour la confiance qu'il m'a accordée en m'accueillant au sein de son laboratoire mais aussi de m'avoir fait bénéficier de ses conseils et de ses orientations tout au long de mes travaux. Je voudrais vous témoigner toute ma reconnaissance.

Mes remerciements se tournent également vers **Docteur KOFFI Kouassi Eugène, M. KOFFI Kouassi Laurent, M. SONAN N'Cho, personnel de l'Institut Pasteur**. Vous m'avez fait l'immense honneur d'accepter ma présence dans votre laboratoire. Je tiens à vous remercier pour votre disponibilité, vos conseils et votre aide. Veuillez trouver dans ce travail, l'expression de ma plus vive reconnaissance.

Je tiens à remercier du fond du cœur, **Dr AKMEL Djedjro Clément, Dr AGBO Edith, Dr DERE Kwodjo Anicet Luc, Dr NOGBOU Arsène Landry Igor, Dr KAKOU Ernest, Dr DIALLO Koffi, Dr KOUAKOU Koffi Amoulaye, Dr KOUASSI Esaïe Appiah** pour leur implication effective dans la réalisation de ce travail.

Ce travail n'aurait pas pu avoir lieu sans l'aide et la participation des populations enquêtées. Je remercie donc chaleureusement toute ces populations, merci pour votre motivation et votre détermination.

Je n'oublie pas mes amis et parents, notamment **ADOU Kouakou Eric, ANI Beffiassou Perpeutue-MAMBE, ASSEMIAN Alain Stéphane, ASSIELOU Brou Aubin, CAMARA Monty Abibata, GNAGO Bolly Henry Joël, KOFFI Ahou Honorine, KONE Salimata, KOUADIO Enika Floresse, KRA Kobenan Mathieu, TANOHI N'Gouandi Judith, TINDO**

Affoué Sylvie, TOKPA Gonou Aline, TRAORE Koba Fatou, TRAORE Maférima, YAO N'Guessan Jean Claude, YRO Aubain et tous les doctorants... Vos conseils, humours et votre volonté de réussir m'ont poussée à atteindre mes objectifs. Merci infiniment pour tout.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	I
REMERCIEMENTS	II
LISTE DES FIGURES	XI
LISTE DES TABLEAUX	XIV
LISTE DES ABREVIATIONS	XV
RÉSUMÉ	XVII
INTRODUCTION	1
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	5
I. PALMIER A HUILE	6
I.1. Caractérisation du palmier à huile.....	6
I.1.1. Origine.....	6
I.1.2. Culture.....	6
I.1.3. Fruit du palmier à huile	9
I.2. Huile de palme	11
I.2.1. Production et échanges mondiaux.....	11
I.2.2. Production des huiles de palme brutes et raffinées	14
I.2.2.1. Processus de production artisanale d’huile de palme brute.....	14
I.2.2.2. Production moderne d’huile de palme brute	15
I.2.2.3. Raffinage de l’huile de palme brute	16
I.2.3. Usages de l’huile de palme.....	22
I.2.4. Constituants de l’huile de palme	24
I.2.4.1. Constituants majeurs de l’huile de palme	24
I.2.4.2. Constituants mineurs de l’huile de palme	24
I.2.5. Propriétés physico-chimiques de l’huile de palme.....	27
I.2.6. Oxydation de l’huile de palme	28
I.2.7. Effets de l’huile de palme sur la santé.....	29
I.2.8. Effets de l’huile de palme sur les lipides plasmatiques.....	31
I.2.9. Effets des acides gras saturés (AGS) sur le risque cardiovasculaire	31
I.2.10. Synthèse du cholestérol et effet sur le risque cardiovasculaire	32

I.2.11. Études épidémiologiques du risque cardiovasculaire lié à la consommation de l'huile de palme	35
I.2.12. Bénéfices nutritionnels liés à la consommation de l'huile de palme	36
I.2.12.1. Vitamine A	36
I.2.12.2. Vitamine E.....	38
II. ANALYSE BENEFICE/RISQUE	42
II.1. Définition et contexte historique	42
II.2. Méthodologies d'analyse du bénéfice et du risque	43
II.2.1. Evaluation du bénéfice nutritionnel	44
II.2.1.1. Définition	44
II.2.1.2. Etapes de l'évaluation du bénéfice nutritionnel	44
II.2.2. Généralités sur l'analyse des risques.....	46
II.2.2.1. Définition	46
II.2.2.1.1. Analyse du risque.....	46
II.2.2.1.2. Danger.....	46
II.2.2.1.3. Risque.....	46
II.2.2.1.4. Différents concepts de l'analyse des risques.....	47
II.2.2.1.4.1. Analyse des risques selon le Codex Alimentarius.....	48
II.2.2.2. Processus d'évaluation du risque	49
II.2.2.2.1. Identification des dangers.....	49
II.2.2.2.2. Caractérisation des dangers ou évaluation du rapport dose-effet.....	49
II.2.2.2.3. Evaluation de l'exposition.....	50
II.2.2.2.4. ..Caractérisation des risques.....	51
II.2.2.3. Réalisation de l'évaluation des risques	53
III. DIVERSITÉ ALIMENTAIRE	55
MATERIEL ET METHODES.....	57
I. MATERIEL	58
I.1. Matériel biologique	58
I.2. Population étudiée	60
I.3. Produits chimiques	60
II. METHODES.....	61
II.1. Enquête alimentaire.....	61

II.1.1. Sites d'étude	61
II.1.2. Plan de sondage de l'enquête	62
II.1.2.1. Détermination de l'effectif	62
II.1.2.2. Procédure d'enquête	62
II.1.3. Pré-enquête	63
II.1.4. Questionnaire de fréquence	63
II.1.5. Rappel des 24 heures	63
II.1.6. Questionnaire sur le lieu d'approvisionnement, la durée de conservation et de vente des huiles de palme rouge et raffinée	65
II.2. Echantillonnage des huiles	66
II.3. Analyses biochimiques des échantillons de l'huile de palme	67
II.3.1. Détermination du potentiel hydrogène (pH)	67
II.3.2. Indice d'acide	67
II.3.3. Indice de peroxyde	68
II.3.4. Indice d'iode	68
II.3.5. Détermination quantitative des acides gras	69
II.3.6. Détermination des teneurs en provitamine A et vitamine E des échantillons d'huiles	70
II.4. Variation des taux sériques des triglycérides, du cholestérol, des vitamines A et E chez les rats, suite à la consommation de l'huile de palme rouge	73
II.4.1. Suivi et expérimentation animale	73
II.4.2. Prélèvements sanguins et collecte des organes	73
II.4.3. Dosage des différents paramètres biologiques	74
II.4.3.1. Dosage des Triglycérides	74
II.4.3.2. Dosage du cholestérol total	75
II.4.3.3. Dosage du cholestérol HDL	76
II.4.3.4. Détermination du cholestérol LDL	77
II.4.4. Dosage des vitamines A et E par Chromatographie Liquide Ultra Performance (UPLC)	78
II.5. Evaluation des bénéfices nutritifs : Influence de la conservation et de la durée de commercialisation sur la qualité nutritive des huiles	80
II.5.1. Etude de l'influence de la conservation sur la valeur nutritive des huiles	80
II.5.2. Etude de l'influence des rayons solaires sur la valeur nutritive des huiles	80

II.6.	Evaluation du risque d'hypercholestérolémie lié à la consommation des huiles de palme rouge et raffinée produites en Côte d'Ivoire.....	82
II.6.1.	Construction d'un modèle d'évaluation du risque chimique	82
II.6.2.	Ajustement de l'incertitude par la méthode du Bootstrap	84
II.6.3.	Méthode de Monte Carlo.....	85
RESULTATS ET DISCUSSION		87
PARTIE I : ENQUÊTE SOCIO-DEMOGRAPHIQUE ET ALIMENTAIRE.....		88
I.	RESULTATS	88
I.1.	Evaluation de la fréquence de consommation alimentaire.....	88
I.1.1.	Fréquence de consommation des groupes d'aliments (16 groupes d'aliments) ..	88
I.1.2.	Structuration de la variabilité de la consommation des groupes d'aliments	90
I.1.2.1.	Analyse en Composantes Principales (ACP) de la fréquence d'utilisation des 16 groupes d'aliments dans la confection des mets	90
I.1.2.2.	Analyse en composantes principales de la fréquence de consommation des aliments de base	93
I.1.3.	Evaluation de l'apport énergétique des aliments de base.....	95
I.1.4.	Répartition de la population selon le sexe et la fréquence de consommation des huiles et graisses.....	96
I.1.5.	Répartition de la population selon la situation matrimoniale et la fréquence de consommation des huiles et graisses	97
I.1.6.	Fréquence de consommation des huiles de palme rouge et raffinée	98
I.1.7.	Score de Diversité Alimentaire des Individus (SDAI) et fréquence de consommation des huiles de palme	99
I.2.	Evaluation de la quantité d'huile de palme consommée	102
I.2.1.	Quantités d'huiles de palme rouge et raffinée consommées	102
I.2.2.	Répartition de la population étudiée selon l'âge et la quantité d'huile de palme consommée.....	103
I.2.3.	Répartition de la population étudiée selon les groupes ethniques et la quantité d'huile de palme consommée	105
I.2.4.	Répartition de la population enquêtée en fonction du niveau d'étude et de la quantité d'huile de palme consommée	107
I.3.	Zones d'approvisionnement en huile de palme rouge et durée de conservation et de commercialisation des huiles de palme	108

II. DISCUSSION	109
III. CONCLUSION PARTIELLE.....	118
PARTIE II : CARACTÉRISATION CHIMIQUE DES HUILES ET VARIATION DES TAUX SÉRIQUES DES TRIGLYCÉRIDES, DU CHOLESTÉROL, DES VITAMINES A ET E CHEZ LES RATS	119
I. RESULTATS	119
I.1. Détermination du pH, des indices d'acide, de peroxyde et d'iode.....	119
I.2. Profil en acide gras	120
I.3. Teneur en provitamine A et en vitamine E des huiles de palme rouge et raffinée	122
I.4. Variation des taux sériques des triglycérides, du cholestérol, des vitamines A et E chez des rats ayant ingéré de l'huile de palme rouge	124
I.4.1. Variation des taux sériques des triglycérides, cholestérols total, HDL et LDL chez des rats	124
I.4.2. Variation des taux de vitamines A et E dans les organes (foie et cœur) et le sérum des rats	125
II. DISCUSSION	128
III. CONCLUSION PARTIELLE.....	133
PARTIE III : ÉVALUATION BÉNÉFICE/RISQUE LIÉE À LA CONSOMMATION DES HUILES DE PALME	134
I. RESULTATS	134
I.1. Évaluation des bénéfices nutritifs liés aux huiles de palme rouge et raffinée.....	134
I.1.1. Influence de la conservation ménagère sur la valeur nutritive des huiles	134
I.1.1.1. Évaluation des concentrations en provitamine A et en vitamine E durant la conservation des huiles dans les ménages	134
I.1.1.2. Évaluation des concentrations en acides gras libres, insaturés et en peroxydes des huiles au cours de la conservation dans les ménages.....	137
I.1.2. Effet des rayons solaires sur la valeur nutritive des huiles de palme	139
I.1.2.1. Évaluation des concentrations en provitamine A et en vitamine E durant la vente (exposition solaire) des huiles de palme	139
I.1.2.2. Évaluation des concentrations en acides gras libres, insaturés et en peroxydes des huiles exposées aux rayons solaires durant la vente	141
I.2. Évaluation du risque d'hypercholestérolémie lié à la consommation des huiles de palme rouge et raffinée.....	144

I.2.1. Évaluation du risque d'hypercholestérolémie lié à la biodisponibilité totale (100 %)	144
I.2.2. Évaluation du risque d'hypercholestérolémie lié à l'acide palmitique biodisponible à 11 %	146
II. DISCUSSION	148
III. CONCLUSION PARTIELLE	152
CONCLUSION GENERALE	153
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	157
ANNEXES	181

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plantation de palmier à huile	8
Figure 2 : Régime fructifère d' <i>Elæis Guineensis</i> Jacqs	8
Figure 3 : Palmier à huile âgé de 5 ans	8
Figure 4 : Différentes parties du fruit d' <i>Elæis Guineensis</i> Jacq	10
Figure 5 : Différents types de fruits d' <i>Elaeis guineensis</i>	10
Figure 6 : Huile de palme rouge.....	11
Figure 7 : Production mondiale d'huiles végétales	12
Figure 8 : Evolution de la production mondiale d'huile de palme en millions de tonnes de 2004 à 2017	13
Figure 9 : Production mondiale d'huile de palme en 2017	13
Figure 10 : Différentes étapes de production d'huile de palme brute (huile rouge).....	14
Figure 11 : Production d'huile et de tourteaux à partir de graines.....	16
Figure 12 : Schéma des différentes opérations du raffinage	20
Figure 13 : Raffinage par distillation neutralisante (raffinage « physique ») : étapes et composés éliminés	21
Figure 14 : Principales utilisations de l'huile de palme	23
Figure 15 : Constituants majeurs et mineurs de l'huile de palme	25
Figure 16 : Schéma simplifié de la circulation du cholestérol dans l'organisme.....	33
Figure 17 : Voie de synthèse du cholestérol chez l'homme.....	34
Figure 18 : Formules chimiques de quelques rétinoïdes	37
Figure 19 : Structures chimiques et positions méthyliques des tocophérols et des tocotrienols,	39
Figure 20 : Etapes de la dégradation de la chaîne latérale de la vitamine E (exemple du γ -tocotriénol).	41
Figure 21 : Composantes de l'analyse de risque selon le Codex Alimentarius	48
Figure 22 : Schéma général de l'évaluation du risque sanitaire.....	52
Figure 23 : Echantillons d'huiles de palme rouge et raffinée.....	59
Figure 24 : Rat albinos de souche wistar.....	59
Figure 25 : Situation géographique du cadre d'étude.....	61
Figure 26 : Résultat du produit de deux distributions (Cd et Cp) avec les simulations de type Monte Carlo.....	86
Figure 27 : Distribution de la fréquence de consommation des 16 groupes d'aliments.....	89

Figure 28: Projection des variables (a) et des individus (b) dérivant de la fréquence de consommation des 16 groupes d'aliments dans sept (7) chefs-lieux de districts de Côte d'Ivoire	92
Figure 29 : Classification ascendante hiérarchique de la fréquence de consommation des 16 groupes d'aliments dans les sept (7) zones d'étude	93
Figure 30 : Projection des variables (a) et des individus (b) dérivant du mode de consommation des aliments de base dans 7 chefs-lieux de districts de Côte d'Ivoire	94
Figure 31: Répartition de la population étudiée selon l'âge (A) et de la fréquence de consommation des huiles et graisses (B).....	96
Figure 32 : Répartition de la population étudiée selon la situation matrimoniale (A) et de la fréquence de la consommation des huiles et graisses (B)	97
Figure 33: Fréquence de consommation des huiles de palme rouge et raffinée de marque R1 et R2	98
Figure 34: Distribution du Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI)	100
Figure 35: Distribution des quantités d'huiles de palme rouge et raffinée de marque R1 et R2 consommées par jour.....	102
Figure 36 : Répartition de la population étudiée selon l'âge (A) et de la quantité d'huile de palme rouge et raffinée consommées (B)	104
Figure 37: Répartition des ethnies enquêtées (A) et leur quantité d'huile de palme rouge et raffinée (R1, R2) consommées (B).	106
Figure 38: Répartition de la population enquêtée en fonction du niveau d'étude et de la quantité d'huile de palme consommée	107
Figure 39: Variation de la biodisponibilité des triglycérides, cholestérols total, HDL et LDL chez les rats.....	125
Figure 40 : Variation de la biodisponibilité en vitamines A (B) et E (A) dans les organes de rats	127
Figure 41: Répartition des pertes en provitamine A (A) et en vitamine E (B) au cours de la conservation des huiles alimentaires dans les ménages	136
Figure 42: Variation des Indices d'acide (A), d'iode (B) et de peroxyde (C) des échantillons d'huiles de palme rouges et raffinées au cours de leur conservation dans les ménages	138
Figure 43: Répartition des pertes en provitamine A (A) et en vitamine E (B) durant l'exposition solaire des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée.....	140
Figure 44 : Variation des indices d'acide (A), d'iode (B) et de peroxyde (C) des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée durant l'exposition solaire	143

Figure 45: Risque d'hypercholestérolémie lié à 100 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile rouge	145
Figure 46: Risque d'hypercholestérolémie lié à 100 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile raffinée R1	145
Figure 47 : Risque d'hypercholestérolémie lié à 100 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile raffinée R2	145
Figure 48 : Risque d'hypercholestérolémie lié à 11 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile rouge	147
Figure 49 : Risque d'hypercholestérolémie lié à 11 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile raffinée R1	147
Figure 50 : Risque d'hypercholestérolémie lié à 11 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile raffinée R2	147

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Teneur en acides gras de l'huile de palme brute	26
Tableau II : Composés non glycéridiques (insaponifiables) de l'huile de palme brute	27
Tableau III : Propriétés physico-chimiques de l'huile de palme.....	28
Tableau IV : Recommandations des quantités d'acides gras à ingérer/jour	30
Tableau V : Conditions d'analyse des acides gras par CPG-FID	70
Tableau VI : Distribution des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée R1 et R2	81
Tableau VII : Matrice des valeurs propres des facteurs résultant de l'ACP de la fréquence de consommation des 16 groupes d'aliments.....	90
Tableau VIII : Matrice des valeurs propres des facteurs résultant de l'ACP de la fréquence de consommation des aliments de base dans les zones d'études	93
Tableau IX : Apport énergétique des aliments de base consommé	95
Tableau X : Profils alimentaires des populations étudiées	100
Tableau XI : SDAI par chefs-lieux de districts	101
Tableau XII : Corrélation entre SDAI et la fréquence de consommation des huiles de palme rouge et raffinée	101
Tableau XIII : Répartition de la population investiguée selon le niveau scolaire.....	107
Tableau XIV : Durée de conservation et de commercialisation des huiles de palme rouge et raffinée	108
Tableau XV : Paramètres chimiques des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinées ...	120
Tableau XVI : Teneur en acide gras des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée.....	121
Tableau XVII : Teneur en provitamine A et en vitamine E des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée	123

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en Composantes Principales
Anses	: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AFSCA	: Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire
AG	: Acide Gras
AGI	: Acide Gras Insaturé
AGL	: Acide Gras Libre
AGS	: Acide Gras Saturé
AGMI	: Acide Gras Monoinsaturé
AGPI	: Acide Gras polyinsaturé
ANC	: Apport Nutritionnel Conseillé
CAH	: Classification Ascendante Hiérarchique
CIRAD	: Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CPG	: Chromatographie en Phase Gazeuse
DHA	: Docosahexaénoic Acid
EFSA	: European Food Safety Authority
EPA	: Eicosapentaénoic Acid
FACI	: Fabrication d'Aliments Composés Ivoiriens
FAO	: Food and Agriculture Organisation
HDL	: High Density Lipoprotein
LDL	: Low Density Lipoprotein
SDAI	: Score de Diversité Alimentaire Individuel
MCV	: Maladie Cardiovasculaire
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
meq	: Miliéquivalent
PL	: Phospholipide
TBME	: Tertio Butyl Methyl Ether
TG	: Triglycéride
TMSH	: Triméthyl hydroxyde de sulfonium

UPLC : Ultra Performance Liquid Chromatography

UGRA : Unité de Gestion des Ressources Animales

VLDL : Very Low Density Lipoprotein

RÉSUMÉ

L'huile de palme est la source de lipides la plus utilisée dans les industries alimentaires et dans les ménages. Cette huile, du fait de sa richesse en acide palmitique, serait impliquée dans la survenue des maladies cardiovasculaires. L'objectif de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la perception de l'huile de palme par l'approche risque/bénéfice. Pour atteindre cet objectif, la fréquence et les quantités d'huile de palme consommées ont été déterminées à partir d'une enquête alimentaire. Puis, la composition chimique des huiles de palme a été déterminée et une analyse biologique chez des rats Wistars ayant consommés de l'huile de palme rouge a été réalisée. Les résultats de l'enquête ont montré qu'en moyenne, les quantités d'huiles de palme rouge et raffinée consommées par jour et par personne étaient comprises entre 22 et 23 g. Ces huiles contenaient près de 7,67 à 150,1 mg ER/kg de provitamine A et des quantités d' α -, γ -tocophérol et de α -, γ -, δ -tocotriénol variant entre 2,48 et 70,71 %. Par ailleurs, l'évaluation quantitative des bénéfices nutritifs des huiles de palme a révélé que les pertes en provitamine A et en vitamine E des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée augmentent avec le temps de conservation et d'exposition. Celles-ci variaient de 0 à 94,49 % pour la provitamine A et de 0 à 83,42 % concernant la vitamine E durant quatre (4) semaines de conservation ou d'exposition solaire. L'étude de la biodisponibilité des vitamines A et E chez des rats wistars durant 12 heures de digestion de l'huile de palme rouge a révélé une variation des taux des triglycérides (0,17 – 10,41 g/L), cholestérol total (0,12 – 1,61 g/L). Ainsi que ceux des cholestérols HDL (0,09 – 0,53 g/L), LDL (0,007 – 1,71 g/L) et des vitamines A (1,52 – 53,90 %) et E (0,02 – 27,33 %). Les cholestérols et triglycérides sont biodisponibles après consommation de l'huile de palme rouge. Le taux de LDL cholestérol au cours des 12 heures d'expérimentation est inférieur au seuil (2,5 g/L) décrivant un risque d'hypercholestérolémie. De même, le risque d'hypercholestérolémie à partir de la concentration en acide palmitique des huiles, de la fréquence et de la quantité d'huile de palme consommée a été évalué à des biodisponibilités de l'acide palmitique à 100 % et 11 %. Pour 100000 habitants, les risques sont de 26020, 25800, 21730 puis de 0, 20 et 30 respectivement à 100 % et à 11 % de biodisponibilité de l'acide palmitique. Le mode de consommation des huiles de palme rouge et raffinée en Côte d'Ivoire ne présente pas de risque significatif pour la population.

Mots clés : bénéfice, quantitative, évaluation, nutritionnels, hypercholestérolémie, huile de palme, risque.



INTRODUCTION

Le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) est une plante oléagineuse d'origine africaine (Golfe de Guinée), et sa culture a débuté au 20^{ème} siècle en Asie du sud-est. Cette culture s'est développée en Afrique entre les deux guerres mondiales (**Cochard et al., 2001**). Aujourd'hui, le palmier, en plus de l'huile (lipide alimentaire), apporte de nombreux avantages aux populations tels que les sauces, les médicaments et les matériaux de construction (**Carrière, 2010**). Depuis 2007, les pouvoirs publics de certains pays de l'Afrique de l'Ouest en occurrence la Côte d'Ivoire et la Guinée, considèrent le palmier à huile comme une culture très importante et l'huile de palme comme la deuxième plus importante filière vivrière après le riz, en termes de sécurité alimentaire et du revenu (**Koundouno et al., 2012**). L'huile de palme est l'huile végétale la plus produite et consommée au plan mondial (**Battaglia, 2010; Jacquemard, 2011**). La production d'huile de palme représente 34,4 % de la production mondiale d'oléagineux. La Malaisie et l'Indonésie dominent la production et le commerce mondial avec 90 % de la production globale. La production de l'Afrique de l'Ouest représente environ 3,5 % (**Ofosu-Budu et Sarpong, 2013**). Selon l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la Côte d'Ivoire est le deuxième pays producteur d'huile de palme en Afrique, avec une production estimée à 370000 tonnes en 2014 (**Faostat, 2017**). L'huile de palme contient plusieurs acides gras dont l'un des plus importants est l'acide palmitique (39,5-47,5%), un acide gras saturé (**Lecerf, 2011**). En plus des acides gras, l'huile de palme est une source majeure de composés mineurs tels que les caroténoïdes et la vitamine E surtout lorsqu'elle est brute (**Sundram et al., 2003**). Elle contient environ 50 à 80 mg/100 g de caroténoïdes. Elle est l'huile la plus riche en caroténoïdes avec une teneur 20 fois plus que l'huile d'olive, 200 fois plus que l'huile de tournesol. De plus, c'est l'huile la plus riche en tocotriénols (**Lecerf, 2017**).

L'huile de palme est beaucoup utilisée comme matière première par des industries et elle fait l'objet d'échanges internationaux du fait de ces propriétés physiques, chimiques et de son coût relativement bas. Elle est notamment présente en grande quantité dans les produits frits, car elle est utilisée comme huile de friture par excellence. L'huile de palme est également très présente dans les viennoiseries, les pâtisseries et les biscuits. En effet, elle confère une bonne stabilité, du croustillant aux biscuits et du moelleux aux pâtisseries. L'huile de palme est également utilisée comme un très bon agent de transmission de la chaleur pendant la cuisson (**Lefèvre, 2015**).

Cependant, la qualité nutritionnelle et sanitaire de l'huile de palme est mise en cause pour sa composition en acides gras saturés, notamment l'acide palmitique et en monochloropropane-

diol (MCPD), un composé formé au cours du raffinage. Des études réalisées par **Bester et al. en 2010** ont relevées un caractère hypercholestérolémiant de cette huile. Également, des textes effectués par **Fattore et Fanalli (2013)** et par **Odia et al. (2015)** sur le lien entre la consommation de l'huile de palme et les maladies chroniques donnent lieu à une augmentation du taux du cholestérol total et du LDL cholestérol pouvant entraîner des maladies cardiovasculaires. Toutefois, les effets délétères de l'huile de palme dû à sa teneur en acide palmitique décrites par les études seraient-elles des raisons suffisantes pour proscrire l'huile de palme dans l'alimentation humaine ? Autrement dit, l'huile de palme présente -t-elle uniquement des propriétés négatives pour le consommateur ? Des études épidémiologiques sur le lien entre consommation d'huile de palme et santé cardiovasculaire semblent indiquer un effet défavorable, mais la méthodologie des études disponibles ne permet pas de trancher (**Lecerf, 2017**).

En fait, il existe une controverse à propos du rôle délétère de l'huile de palme sur la santé cardiovasculaire puisque, des analyses effectuées par **Mondé et al. en 2010** ont révélé l'effet antioxydant in vitro des polyphénols contenus dans l'huile de palme. De même, en 2017 d'autres travaux réalisés par **Mondé et al. (2017)**, ont montré qu'il y avait une réduction du taux de cholestérol chez des patients souffrants d'ischémie après quatre semaines de consommation de mets contenant les huiles de palme rouge ou raffinée.

En effet, la qualité d'un aliment est un concept qui a plusieurs définitions concordant toutes à identifier le consommateur comme l'utilisateur final (**Multon et Davenas, 1994**). C'est donc un concept qui vise la satisfaction et le bien-être du consommateur. On distingue dans ce concept de qualité plusieurs composantes dont la qualité nutritionnelle, la qualité physico-chimique, la qualité hygiénique et la qualité organoleptique. Plusieurs paramètres et normes nationales et internationales sont établis afin d'apprécier la qualité des aliments (**Bremner, 2000**). En santé publique, la nutrition est un déterminant majeur de maladies chroniques comme le diabète, l'obésité et les maladies cardiovasculaires parfois liées à la consommation d'un aliment. L'ingestion d'un aliment est source de divers types de risques et bénéfiques qui peuvent être quantifiés et comparés.

Ainsi, prendre en compte seulement l'acide palmitique comme le facteur limitant pour la consommation de l'huile de palme peut conduire à des recommandations entraînant une baisse de bénéfice. Considérer uniquement la provitamine A et la vitamine E comme nutriments essentiels apportés en majorité par la consommation de l'huile de palme peut conduire à des recommandations entraînant un risque accru. En vue de prendre une décision pertinente, il est

opportun d'effectuer une évaluation risque-bénéfice prenant en compte le risque et l'ensemble des bénéfices associés à l'exposition des populations consommant les huiles de palme rouge et raffinée. L'analyse du risque permet donc de donner les moyens d'une évaluation du risque liée aux problèmes alimentaires rigoureusement scientifiques et des mesures préventives qui pourraient être utilisées afin de diminuer le risque (**Schlundt, 2002**).

Ainsi, l'objectif général de ce travail est de contribuer à l'amélioration de la perception de l'huile de palme à travers l'approche risque-bénéfice.

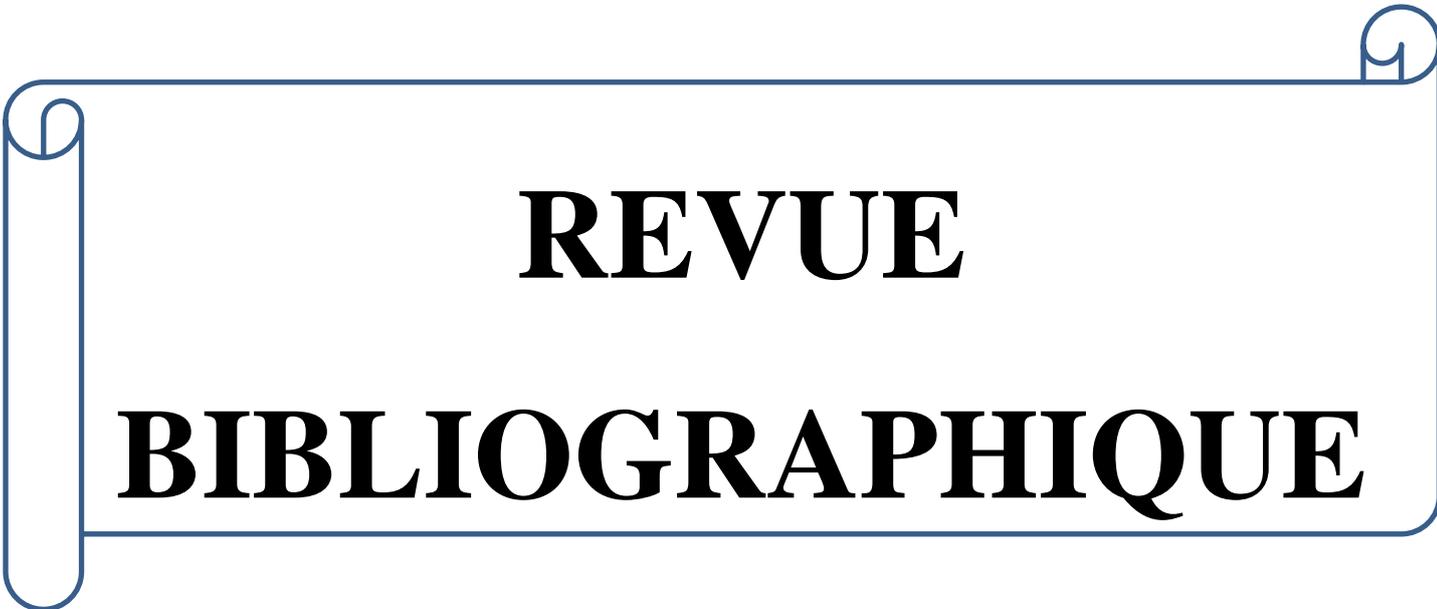
Cet objectif général a été décliné en trois objectifs spécifiques à savoir :

- Effectuer une enquête alimentaire décrivant la fréquence et les quantités d'huiles de palme rouge et raffinée consommées.

- Déterminer les caractéristiques chimiques des huiles et la variation des taux sériques des triglycérides, du cholestérol, des vitamines A et E chez des rats après consommation de l'huile de palme.

- Evaluer le bénéfice et le risque liées à la consommation des huiles de palme.

Cette thèse est organisée autour de trois (3) chapitres précédés d'une introduction et s'achève par une conclusion générale. Le premier chapitre est destiné à la description des termes clés et définit les caractéristiques des huiles de palme rouge et raffinée. Il souligne également les différentes composantes de l'évaluation du risque et du bénéfice nutritionnel. Le deuxième chapitre décrit le matériel et la méthodologie utilisés pour la réalisation des travaux. Puis, la troisième section est consacrée à la description des différents résultats obtenus et à la discussion.

A decorative border in a dark blue color, resembling a scroll. It has rounded corners and a vertical strip on the left side that looks like the edge of a rolled-up document. The text is centered within this border.

REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE

I. PALMIER A HUILE

I.1. Caractérisation du palmier à huile

I.1.1. Origine

Le palmier à huile est une plante monocotylédone appartenant au genre *Elaeis* et à la famille des *Arecaceae* ou palmiers. Le genre *Elaeis* comprend deux espèces, à savoir *Elaeis guineensis* Jacq. et *Elaeis oleifera* (Rees, 1965). L'espèce *E. oleifera* est d'origine sud-américaine et est toujours une espèce sauvage (Jacquemard, 2012). *E. guineensis* Jacq. ou *Eléis* de Guinée est originaire d'Afrique et plus précisément du Golfe de Guinée. Cette espèce a été découverte pour la première fois en 1763 aux Antilles par le botaniste Nicolaas Jacquin. *Elæis* provient du grec ancien Elaiêis qui signifie huileux et *guineensis* qui fait référence à son origine géographique (Albano, 2002). L'espèce *E. guineensis* Jacq. est originaire des pays d'Afrique tropicale (Bénin, Côte d'Ivoire, Kenya, Nigéria, Ouganda, République démocratique du Congo, Sénégal, Sierra Leone, Tanzanie, Togo) où il pousse de façon spontanée dans les zones tropicales humides (Corley, 1976). Elle a été introduite pour la première fois au Brésil et dans d'autres pays tropicaux au XV siècle par les portugais (Corley, 1976). Dans l'Asie du Sud-Est le palmier de l'Afrique Occidentale a d'abord été planté dans les jardins botaniques de Bogar à Java en Indonésie en 1848 par un Hollandais. De là, il fut envoyé au jardin botanique de Singapour en 1875 ensuite, en Malaisie en 1878. Dans ces pays le palmier à huile a été utilisé comme plante d'ornement jusqu'à la création des premières plantations commerciales à partir de 1917 (Sundram *et al.*, 2003).

I.1.2. Culture

Le palmier à huile est principalement cultivé en Afrique, en Amérique du Sud, au Sud-Est asiatique et dans le Pacifique Sud (Corley, 1976; Hartley, 1977). Dans les pays d'Afrique, certaines palmeraies (Figure 1) se sont développées de façon naturelle. Plusieurs exemples de palmeraies spontanées ont été observés au cours de la période contemporaine en Ouganda (Thomas, 1936), au Togo et au Bénin (Aubréville, 1937), en Côte d'Ivoire et en Sierra Leone (Schnell, 1946), au Gabon (Le Testu, 1938). Egalement, au Sénégal (Dombia, 1966), en Guinée (Roy, 1957), au Liberia (Seymour, 1858), au Nigéria (Clayton, 1961), en Centrafrique (Boulvert, 1986), au Ghana (Swaine et Hall, 1986) et au Cameroun (Letouzey, 1978). Les palmeraies naturelles sont souvent mises en place par la dissémination des noyaux de ce palmier effectuée par certains animaux tels que les Perroquets, les Toucans et les Chimpanzés dont les

excréments en contiennent souvent en abondance (**Schnell, 1946**). Les premières plantations industrielles se sont développées en 1911 sur l'île de Sumatra. Ensuite, elles se sont étendues dans toute l'Indonésie, la Malaisie et en Amérique du Sud. Depuis 30 ans, le Palmier à huile (**Figure 2**) est cultivé dans des plantations industrielles qui ne cessent de s'agrandir. Les plantations de Palmiers à huile représentent plus de 14 millions d'hectares dans la zone intertropicale (**Hoyle et Levang, 2012**). L'espèce la plus cultivée est un hybride entre *Dura* & *Pisifera* (D*P), connue sous le nom de *Tenera*. En pépinière, les graines de palmier sont minutieusement choisies et germinées dans des conditions contrôlées. Les graines germinées sont ensuite transférées dans des sacs agricoles et resteront en pépinières pendant encore 12 à 15 mois avant d'être transférées en plein sol dans les plantations (**Matallah, 2006**). Pour son développement optimal, la culture du palmier à huile exige au moins 1800 mm/an de pluie et une température moyenne annuelle de 28 °C à 34°C (**Konan et al., 2008**). L'expansion de la culture du palmier à huile dans le monde a commencé dans les années 1960 lorsque la plante a été importée en Asie du Sud-Est, notamment en Malaisie puis en Indonésie qui détiennent plus de 80 % des superficies mondiales plantées (**Ahoyo, 2008**). Ce succès s'explique par des conditions climatiques globalement plus favorables que dans les pays de l'Afrique Occidentale (**Nodichao, 2008**). Une estimation très générale de la culture du palmier à huile donne une surface totale d'environ 6 millions d'hectares de terres plantées avec le palmier à huile dans 23 pays d'Afrique (**Carrère, 2010**). Des pays tels que la Côte d'Ivoire, le Bénin, le Cameroun, la République Centrafricaine, le Congo, le Gabon, le Ghana, la Guinée et le Nigeria contribuent à 80 % de la production africaine d'huile de palme. Les rendements moyens en régimes (**Figure 3**) de palme dans ces pays sont caractérisés par une forte dispersion et varient de 2 tonnes à 16 tonnes de régimes par hectare en production pluviale et peuvent atteindre 20 tonnes à l'hectare en culture irriguée (**Aholoukpe, 2013**). Après la variété *tenera*, une multitude de croisements inter-spécifiques entre *Elaeis guineensis* et *Elaeis oleifera* (d'origine latino- américaine) et intra-spécifiques ont fait l'objet de plusieurs études (**Cochard et al., 2005**). Ils ont permis de mettre à la disposition des pays producteurs de palmier à huile des variétés améliorées à haut rendement et à large adaptabilité agroécologique. En Afrique, différentes catégories d'hybrides d'origines "Deli (Indonésie) x La Mé" (Côte d'Ivoire) et "Deli x Yangambi" (Congo) ont été mises au point en tenant compte des critères d'adaptation aux conditions agro-climatiques et de résistance à la fusariose qui est une maladie fongique endémique à l'Afrique (**Aholoukpe, 2013**).



**Figure 1 : Plantation de palmier à huile
(Lefèvre, 2015)**



**Figure 3 : Palmier à huile âgé de 5 ans
(Yao et Kamagaté, 2010)**



**Figure 2 : Régime fructifère
d'*Elaeis Guineensis* Jacqs
(Lefèvre, 2015)**

I.1.3. Fruit du palmier à huile

Le fruit du Palmier à huile est un fruit charnu à noyau, ovoïde, long de 3 à 5 cm (**Jacquemard, 2012**). L'enveloppe externe du fruit est appelée exocarpe (**Figure 4**). Elle est cutinisée, lisse, luisante et riche en carotènes. Sous l'exocarpe se trouve le mésocarpe, qui correspond à la pulpe du fruit. Cette pulpe est jaune orangée grâce aux caroténoïdes, son épaisseur varie de 2 à 10 mm et elle renferme de 45 à 50 % de son poids en huile de palme. Puis, on a l'endocarpe ou noyau, également appelé « noix de palme ». C'est un noyau très dur, noir, constitué d'une amande appelée « palmiste » entourée d'une coque de 0,5 à 5 mm d'épaisseur. L'amande est riche en lipides et elle fournit l'huile de palmiste (**Adam, 1910 in Lefèvre, 2015**). Il existe 3 types de variétés de palmier à huile : dura, pisifera et tenera qui produisent différents types de fruits.

- le type dura qui se caractérise par des fruits à coque épaisse, à pulpe fine et à grosse amande constitue l'essentiel des peuplements naturels et sub-spontanés. C'est le type exploité traditionnellement en Afrique pour produire l'huile de palme dite « rouge » à partir de sa pulpe et l'huile de palmiste dite « noire » par chauffage des amandes. Il est le parent femelle pour la production de semences commerciales sélectionnées (**Rafflegeau, 2008**);
- le type pisifera qui se caractérise par des fruits sans coque, produit très rarement de régimes arrivant à maturité du fait d'une anomalie de la fécondation. Il est donc sans intérêt pour la production d'huile mais son pollen étant normalement fertile. Il est utilisé comme parent mâle pour la production de semences commerciales sélectionnées (**Rafflegeau, 2008**);
- et le type tenera, hybride des deux précédents, se caractérise par des fruits à coque fine, à pulpe épaisse et à petite amande. Il offre le meilleur rendement en huile avec une répartition respective d'environ 90 % et 10 % d'huile de palme extraite de la pulpe et d'huile de palmiste extraite de l'amande. Les palmeraies sélectionnées sont plantées uniquement avec cet hybride (**Rafflegeau, 2008**) (**Figure 5**).

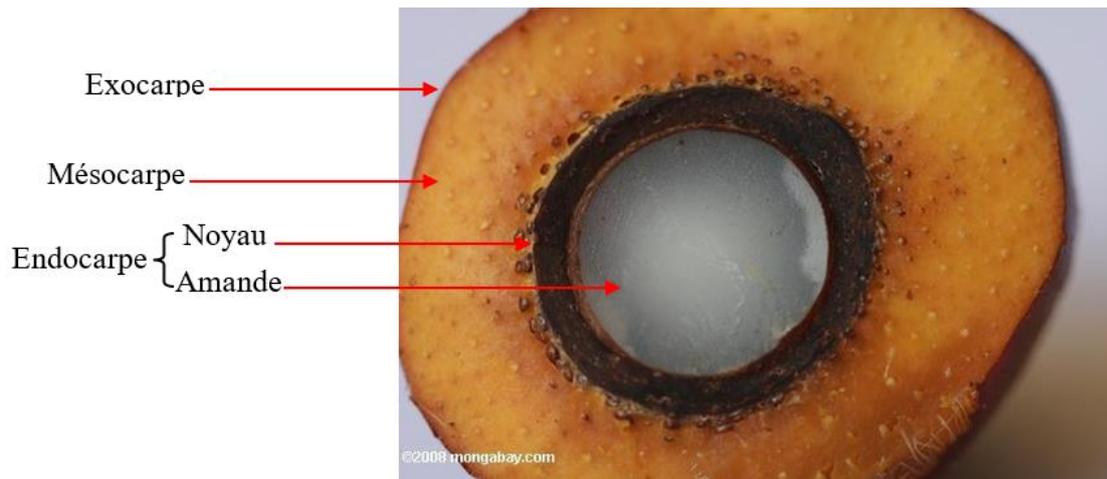


Figure 4 : Différentes parties du fruit d'*Elaeis Guineensis* Jacq
(Anonyme 1)

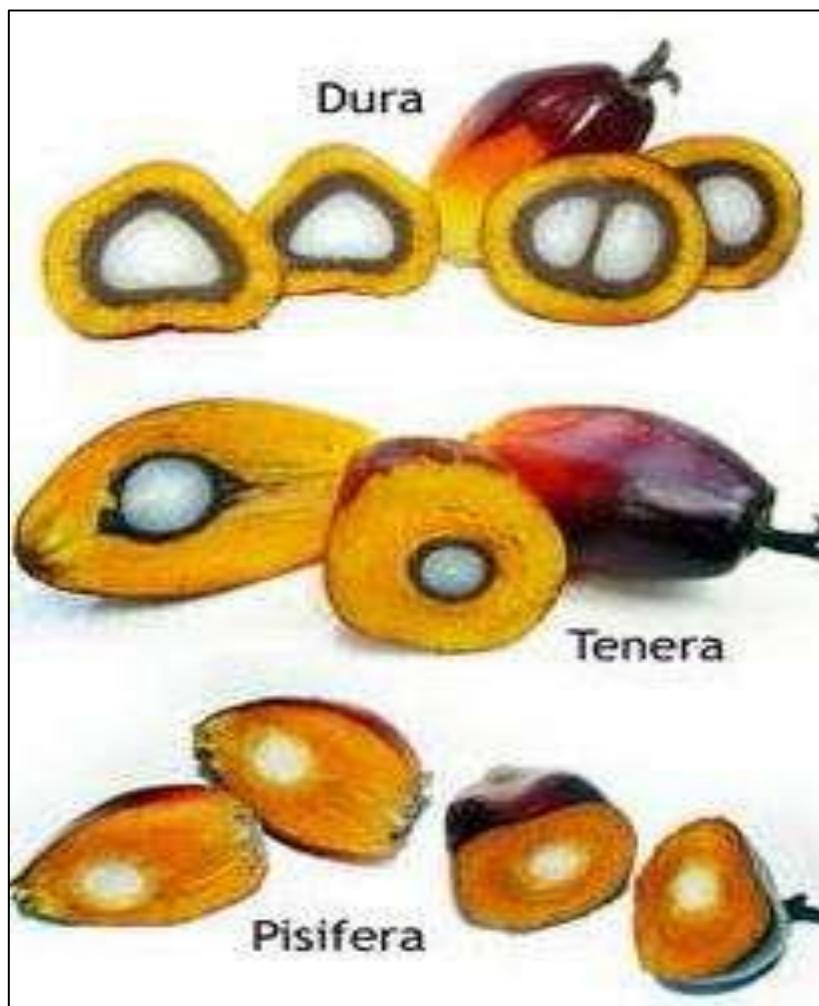


Figure 5 : Différents types de fruits d'*Elaeis guineensis*
(Levang, 2012)

I.2. Huile de palme

L'huile de palme est une huile végétale extraite par pression à chaud de la pulpe des fruits du palmier à huile. Sa forte teneur en caroténoïdes lui confère une couleur rouge-orangée (**Lecerf, 2011**) et devient translucide après décoloration et désodorisation c'est-à-dire le raffinage. Par ailleurs, l'huile de palmiste qui est extraite des noyaux des fruits du Palmier à huile est de couleur jaune-claire à l'état liquide. Elle a une saveur et une odeur de noisette assez caractéristique. L'huile de palmiste est particulièrement riche en acide laurique et ses propriétés chimiques en font une huile très proche de celle du COPRAH. (**Touré, 2013**).



Figure 6 : Huile de palme rouge

(Photo Yoboué)

I.2.1. Production et échanges mondiaux

Le palmier à huile est la plante oléagineuse la plus productrice, avec des rendements moyens de 6 tonnes/hectare et plus de 10 tonnes/hectare pour les variétés améliorées. Le palmier à huile est 7 à 10 fois plus producteur que des plantes oléagineuses telles que le soja, le colza et le

tourneol. Il n'occupe que 7 % des surfaces agricoles en oléagineux alors que celles consacrées au le soja, au colza ou au tourneol sont respectivement de 61 %, 18 % et 14 % (**Rival et Levang, 2013**). L'huile de palme est l'huile végétale la plus produite au monde (**USDA, 2017**). Elle représente 34,4 % de la production mondiale d'huile végétale (**Figure 7**).

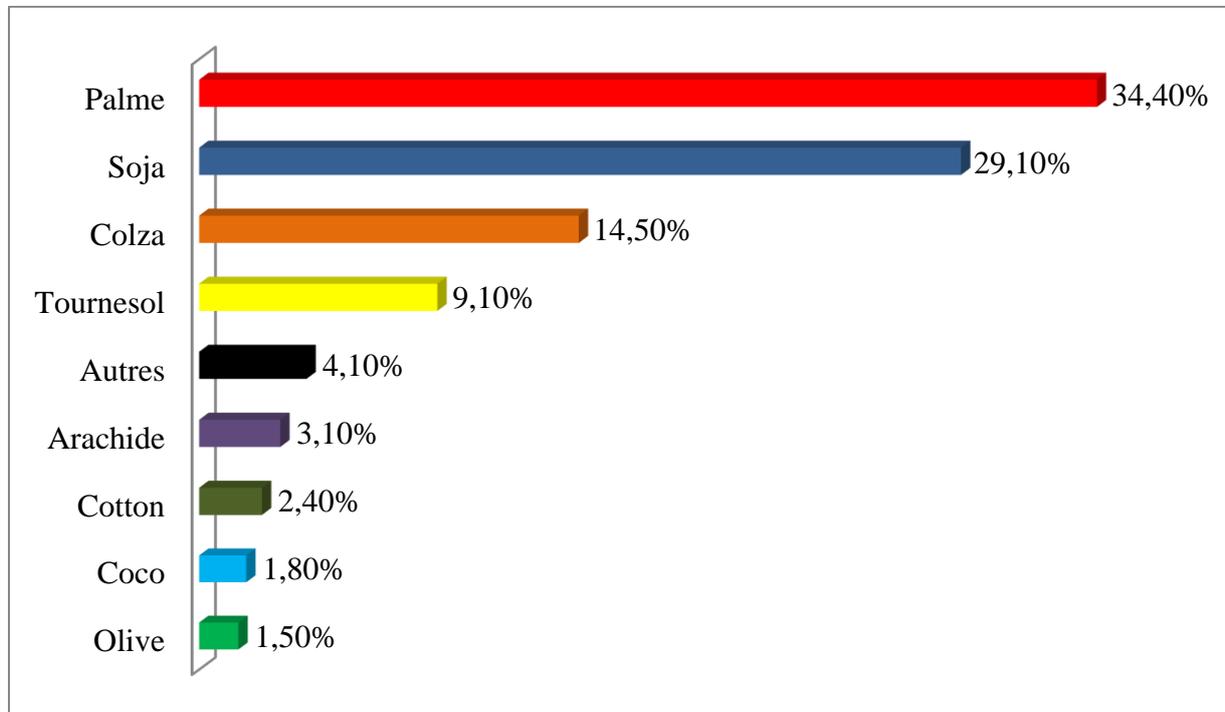


Figure 7: Production mondiale d'huiles végétales
(USDA, 2017)

La production mondiale d'huile de palme est en nette croissance. Elle est passée de 20 millions de tonnes en 2000 (**USDA, 2013**) à 64,495 millions de tonnes en 2017 (**Figure 8**) (**USDA, 2017**). Depuis 1960, l'Indonésie et la Malaisie demeurent les premiers pays producteurs de l'huile de palme avec une production estimée à 85 % de l'huile de palme mondiale. Ces productions étaient respectivement 35 et 20 millions de tonnes en 2017. Les productions de la Thaïlande en Asie, la Colombie en Amérique latine et le Nigéria en Afrique sont respectivement de 2,3, 1,28 et 0,97 millions de tonnes. (**USDA, 2017**) (**Figure 9**). La production mondiale de l'huile de palme s'est majoritairement industrialisée, avec 60 % de la production assurée par de grands groupes exploitants des plantations et des raffineries. Puis, 40 % de la production sont dirigées par de petits exploitants.

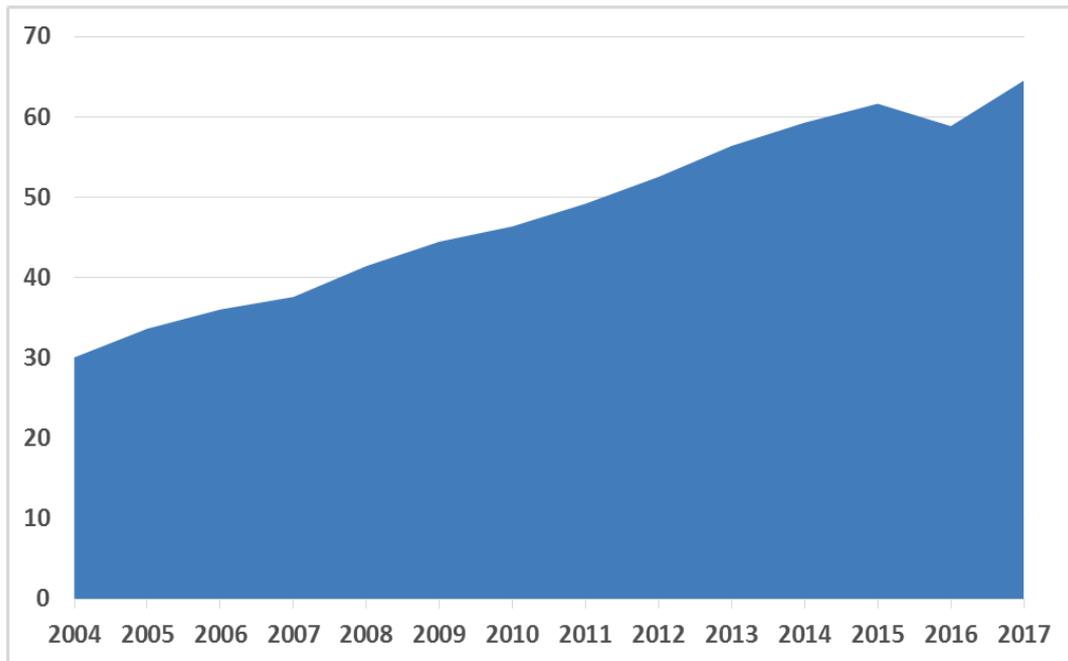


Figure 8: Evolution de la production mondiale d’huile de palme en millions de tonnes de 2004 à 2017

(USDA, 2017)

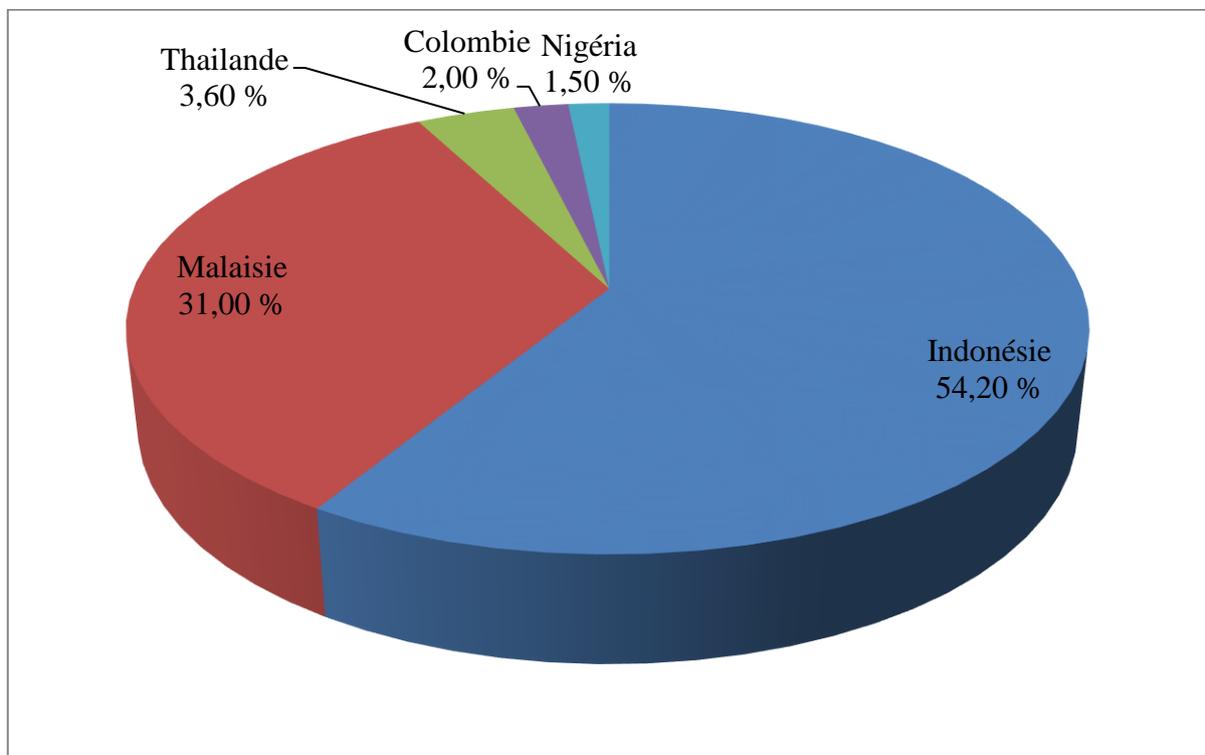


Figure 9 : Production mondiale d’huile de palme en 2017

(USDA, 2017)

I.2.2. Production des huiles de palme brutes et raffinées

I.2.2.1. Processus de production artisanale d'huile de palme brute

L'obtention de l'huile de palme brute par l'utilisation des presses artisanales (manuelles ou à moteur) se fait par plusieurs étapes : la fermentation, l'égrappage, le tri-vannage, la cuisson (chauffage), le pressage et enfin la clarification. Ces différentes étapes de production d'huile de palme rouge sont résumées sur la **figure 10**.

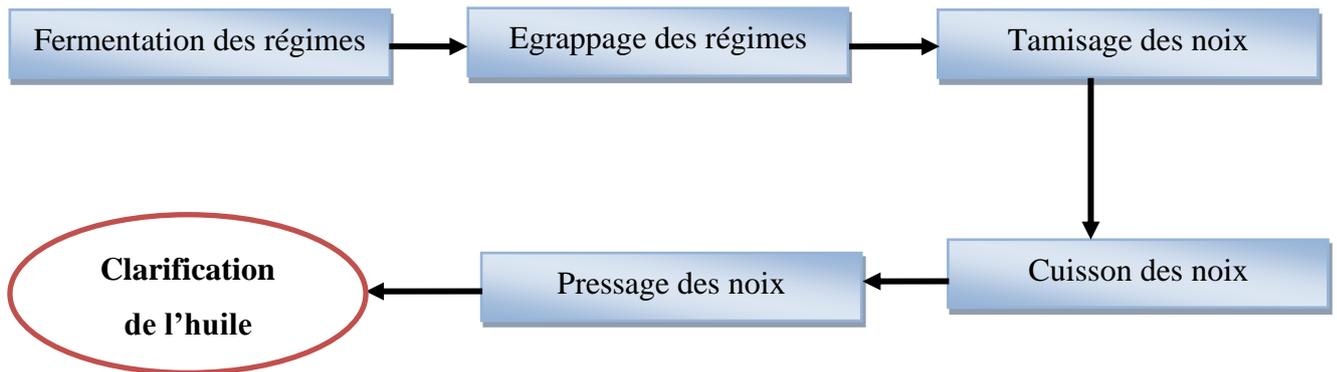


Figure 10: Différentes étapes de production d'huile de palme brute (huile rouge)

(Iyabano, 2013)

Le processus de production d'huile rouge commence par la fermentation des régimes de palme et dure deux à trois jours. Les régimes préalablement coupés sont placés à même le sol pour laisser mûrir les noix afin de faciliter leur déhiscence lors de l'égrappage. L'égrappage consiste à séparer les grappes de fruits ou noix de palme de la rafle, à l'aide d'une machette. Les noix séparées sont ensuite étalées au soleil pendant 12 heures pour faciliter l'élimination, par vannage, triage et tamisage, des pellicules, des impuretés et des fruits pourris. Cette opération est généralement effectuée par les femmes à l'aide d'un tamis métallique fabriqué localement. Une tonne de régimes de fruits frais donne en moyenne 3 fûts de noix de palme après égrappage-tamisage. Chaque fût donnera ensuite 50 à 55 litres d'huile de palme brute après pressage et clarification. Les fruits égrappés après fermentation des régimes sont cuits dans des fûts de 200 L remplis d'eau. La cuisson des noix dure trois heures et demie environ. Après la cuisson, les noix sont pressées à l'aide d'une presse qui peut être manuelle ou équipée d'un moteur. Le pressage consiste à séparer l'huile des fibres du mésocarpe. Les presses manuelles sont les plus fréquentes (Nchanji et al., 2013). La clarification est la dernière étape dans la production d'huile rouge. Il s'agit de séparer l'huile, l'eau et les boues par décantation à chaud. En effet, le jus brut sortant du pressage est constitué par un mélange partiellement émulsionné d'huile, d'eau, de matières colloïdales (mucilages) et d'impuretés solides (fibres, sable, etc, ...). De

l'eau est ajoutée au magma résultant du pressage de manière à doubler le volume et à diluer la masse afin de pouvoir faciliter la remontée de l'huile dans le récipient de clarification (fût). Dans les unités artisanales, l'huile brute est bouillie dans des récipients ouverts pendant une durée moyenne de deux heures. L'huile remonte à la surface en traversant la couche d'eau chaude tandis que les boues, les fibres et les particules lourdes se déposent au fond. L'huile clarifiée est ensuite collectée à l'aide d'un seau pour être stockée dans des bidons et fûts. Trois types de résidus sont obtenus après la production de l'huile brute : la rafle, le tourteau de pressage et l'effluent liquide (**Iyabano et Feintrenie, 2014**).

I.2.2.2. Production moderne d'huile de palme brute

La **figure 11** décrit le principe d'une extraction d'huile à partir de graines oléagineuses, ou trituration. La trituration permet d'extraire tous les types de lipides sans distinction. Ce procédé présente deux étapes d'extraction, une principale qui correspond à l'action mécanique d'une presse, et l'autre en voie solvant complémentaire. En effet, en sortie de presse, une quantité non négligeable de matières grasses est encore contenue dans les tourteaux. La gamme de solvants utilisables d'extraction est très restreinte. L'hexane est le solvant le plus couramment utilisé (**Norme: Directive 88/344**).

L'huile en sortie de presse contient une faible quantité de particules solides. Ces particules, riches en lipases (enzymes hydrolysant les TG) doivent être éliminées efficacement pour une bonne conservation de l'huile. Elles sont éliminées généralement en deux étapes : passage de l'huile sur tamis statique ou vibrant, suivi d'une filtration (**Deng, 2011**) .

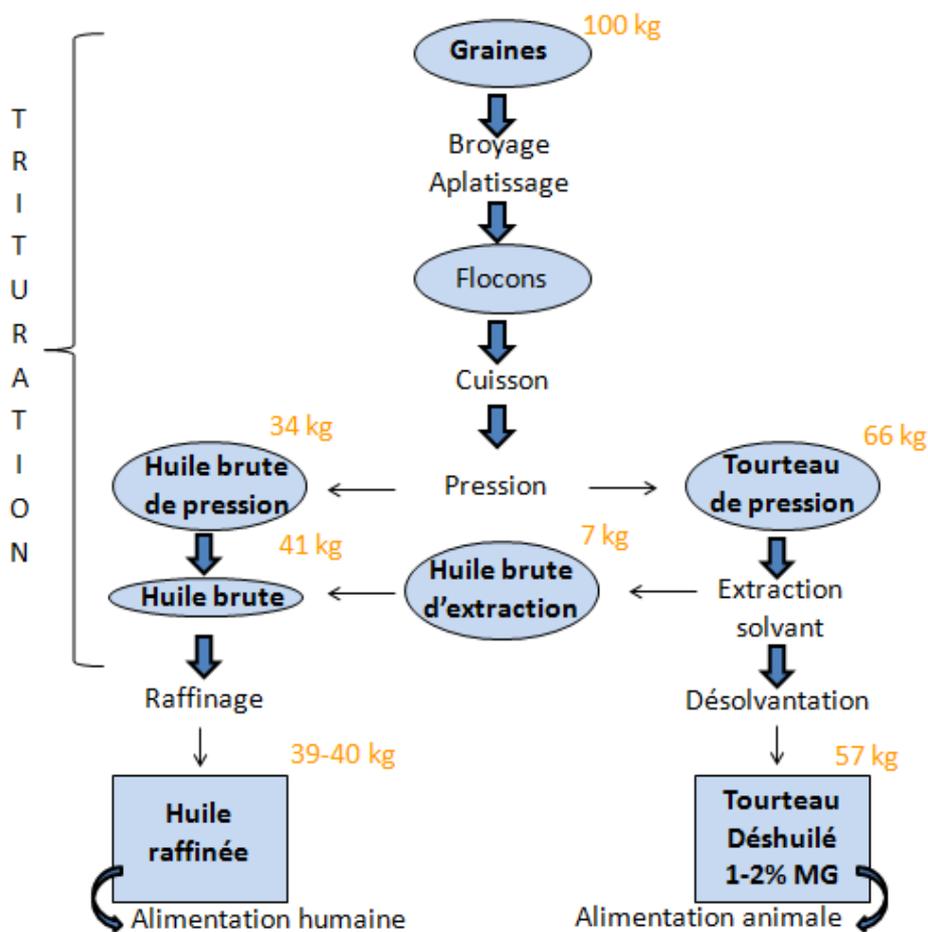


Figure 11:
Production
d'huile et de
tourteaux à
partir de graines
(Pages, 2008)

I.2.2.3. Raffinage de l'huile de palme brute

Le raffinage est un ensemble de traitements mécaniques ou chimiques qui permet d'améliorer les caractéristiques d'un produit et de fabriquer, à partir d'un produit brut, un produit commercial. Cette opération permet de maintenir ou d'améliorer les caractères organoleptiques (goût et odeur neutres, limpidité, couleur jaune clair), nutritionnels et la stabilité des corps gras. Pour ce faire, il met en œuvre plusieurs étapes pour éliminer des composés indésirables (gommes, cires, acides gras libres, pigments, traces métalliques, composés odorants volatils) **(Pages et al., 2010)**.

Il existe deux types principaux de raffinage: le raffinage chimique et le raffinage physique. Le raffinage chimique est la méthode la plus utilisée dans les industries de raffinage de l'huile de palme brute en Côte d'Ivoire. Celui-ci s'effectue généralement en cinq (5) étapes :

Le dégommeage ou conditionnement acide, la neutralisation alcaline, la décoloration la désodorisation, la frigélisation ou « winterisation ». Ces différentes étapes sont décrites par **Devillers et al. (2010)** comme suit :

- **dégommeage ou conditionnement acide**

Cette opération permet l'élimination des phospholipides, facteurs d'instabilité qui tendent à troubler l'huile et induisent des colorations lors de son chauffage. Pour certaines huiles, un premier dégommeage (ou déémucilagination) peut être préalablement réalisé à l'eau. L'huile brute, chauffée à 80 °C, reçoit un ajout d'environ 3 % d'eau avant de passer dans un mélangeur rapide suivi d'un contacteur lent avant centrifugation. Les gommages sont récupérées par centrifugation et peuvent ainsi être valorisées après séchage. L'acide phosphorique est de loin l'acide le plus employé industriellement à cette étape.

- **neutralisation alcaline**

Cette étape permet essentiellement d'éliminer les acides gras libres, par transformation en savons et séparation, ainsi que divers composés résiduels (phospholipides, composés de nature protéique, ...). Le procédé traditionnel comprend les phases suivantes : addition d'une solution de soude, mélange, séparation par centrifugation, lavages à l'eau, séparation puis séchage sous vide. La soude est la base la plus employée en raison de son prix modéré. Le procédé génère des pâtes de neutralisation et des eaux de lavage qui doivent être prétraitées avant rejet. Les pâtes de neutralisation peuvent être réintroduites dans les tourteaux.

- **décoloration**

Le but principal de cette opération est d'éliminer les pigments colorés contenus dans l'huile. La décoloration fait intervenir un agent d'adsorption (terres décolorantes avec ou sans charbon actif). Cette opération est considérée comme mettant en jeu un phénomène physique, même si elle peut entraîner, en outre, certaines modifications chimiques. Cet agent ne joue pas uniquement un rôle décolorant par fixation des pigments, mais présente également un effet « nettoyant » par adsorption de divers composés indésirables présents dans l'huile.

- **désodorisation**

Cette étape constitue en général l'étape finale du raffinage. Elle ne fait pas intervenir d'auxiliaire technologique et procède par simple injection de vapeur d'eau dans l'huile chauffée à haute température et sous un vide très poussé; par entraînement à la vapeur d'eau. Les composés volatils, responsables des saveurs de l'huile (aldéhydes, cétones, ...) sont éliminés ainsi que les résidus de pesticides et de mycotoxines éventuellement présents. Au terme de cette étape, l'huile présente un goût neutre ; elle est par la suite conditionnée sous azote afin de la protéger contre l'oxydation. Certains raffineurs ajoutent à l'huile, dans le désodorisateur ou à sa sortie, une petite quantité d'acide citrique indiqué pour améliorer la conservation de certaines huiles raffinées.

- **frigélisation ou « winterisation »**

Cette opération concerne certaines huiles riches en cires (tournesol, pépin de raisin). Les cires sont des esters d'alcools gras et d'acides gras à longue chaîne qui cristallisent à température ambiante et présentent à ce titre des inconvénients lors de l'utilisation des huiles (trouble, dépôt). La « winterisation » ou décirage, consiste à provoquer la cristallisation de ces cires, l'étape suivante de séparation étant généralement réalisée par filtration. Le décirage prend place le plus souvent entre la décoloration et la désodorisation (**Devillers et al., 2010**). Le raffinage permet ainsi d'obtenir une huile composée à 95-99 % de triglycérides. (**Pages, 2008**) (**Figure 12**).

Le raffinage physique ne comporte pas l'étape de neutralisation chimique à la soude. Ce procédé Les acides gras libres sont éliminés lors de la désacidification à haute température (240-260 °C), par distillation sous un vide poussé. Les phospholipides et les autres impuretés doivent être éliminés préalablement par pré-traitement. Seules les huiles saturées et acides (palme, coprah) sont adaptées à subir ce type de raffinage. Les huiles polyinsaturées, sensibles à l'oxydation, ne peuvent pas être raffinées de la sorte, sans risque de formation de réactions parasites du type polymérisation ou isomérisation (**Devillers et al., 2010**). Les différents étapes du raffinage physique sont :

- **Dégommage acide**

De l'eau et de l'acide (phosphorique ou citrique) sont ajoutés à l'huile préalablement chauffée entre 80 et 90 °C. Le mélange est ensuite « mûri » pendant 20 à 30 minutes. Pendant ce temps, les phospholipides hydratés vont flocculer grâce à l'eau introduite. Par ailleurs, les phospholipides non hydratés vont former un complexe avec l'acide citrique, ce qui va les rendre hydratés et permettre ainsi leur floculation. Les floculats ainsi formés sont éliminés par centrifugation. Cette première étape permet l'élimination d'environ 80 % des phospholipides.

- **Super – dégommage ou unidegumming**

L'étape de dégommage acide est suivie éventuellement d'une étape dite de « super-dégommage » ou unidegommage pour parfaire l'élimination des phospholipides. Le super-dégommage est effectué à l'aide d'une solution acide (généralement l'acide citrique) diluée et tamponnée de façon à ce que le pH soit compris entre 3 et 4,5. La température initiale est fixée à 60 °C, puis est abaissée jusqu'à 20 °C, ce qui augmente l'insolubilisation des phospholipides, également favorisée par la présence d'agents tensio-actifs ou de flocculants. Après centrifugation, l'huile est séchée puis décolorée. Pour les huiles pauvres en phospholipides (huiles concrètes et huiles d'olive), cette étape

Complémentaire n'est pas pratiquée ; le prétraitement consiste en un conditionnement à l'acide phosphorique concentré (75 %) ou dilué au tiers, suivi d'une addition d'eau qui fait précipiter les mucilages qui sont éliminés par centrifugation ou lors de la décoloration (raffinage par voie sèche).

- **Traitement sur terres décolorantes**

Cette étape permet de parfaire encore l'élimination des phospholipides. Elle joue, en outre, un rôle nettoyant et peut avoir un effet de pré-décoloration (cas du palme). La quantité de terre ajoutée peut atteindre 3 % pour l'élimination du phosphore à un niveau inférieur à 5 ppm. Après un contact de 30 à 45 minutes à 80 - 90 °C sous agitation, l'huile est classiquement filtrée sur un filtre le plus souvent à décatissage automatique.

- **Distillation ou désodorisation neutralisante**

Le raffinage physique consiste en un entraînement à la vapeur, sous vide poussé, à une température supérieure à 235 °C, d'où les noms de distillation neutralisante ou de raffinage à la vapeur qu'on lui donne souvent. Dans ces conditions, les acides gras libres sont entraînés dans la phase vapeur. Le désodoriseur utilisé doit avoir été conçu spécialement pour pouvoir pratiquer la distillation neutralisante. Il devra en particulier comporter :

- ✓ un système de chauffage permettant de maintenir l'huile à une température supérieure à 240 °C, au moins dans les premiers étages,
- ✓ un système d'injection permettant d'insuffler un volume suffisant de vapeur pour permettre l'entraînement complet des acides gras libres,
- ✓ des cheminées d'évacuation renforcées pour que l'entraînement gazeux ne soit pas gêné,
- ✓ un système de vide renforcé pour permettre l'aspiration des gaz (vapeur + distillation) et pour réduire le poids de vapeur d'eau à insuffler,
- ✓ des déflecteurs spécialement adaptés, au moins dans les étages où se produit l'essentiel de la distillation neutralisante pour piéger les gouttelettes d'huile entraînées par le courant de gaz beaucoup plus important que dans un désodoriseur classique,
- ✓ des laveurs à gaz adaptés à la quantité de distillat à condenser.

Pour que l'huile désodorisée ait une qualité acceptable, il est absolument indispensable qu'à l'entrée de l'appareil l'huile ait une teneur en phosphore inférieure à 3 ppm et soit débarrassée de ses traces métalliques (**Devillers et al., 2010**) (**Figure 13**).

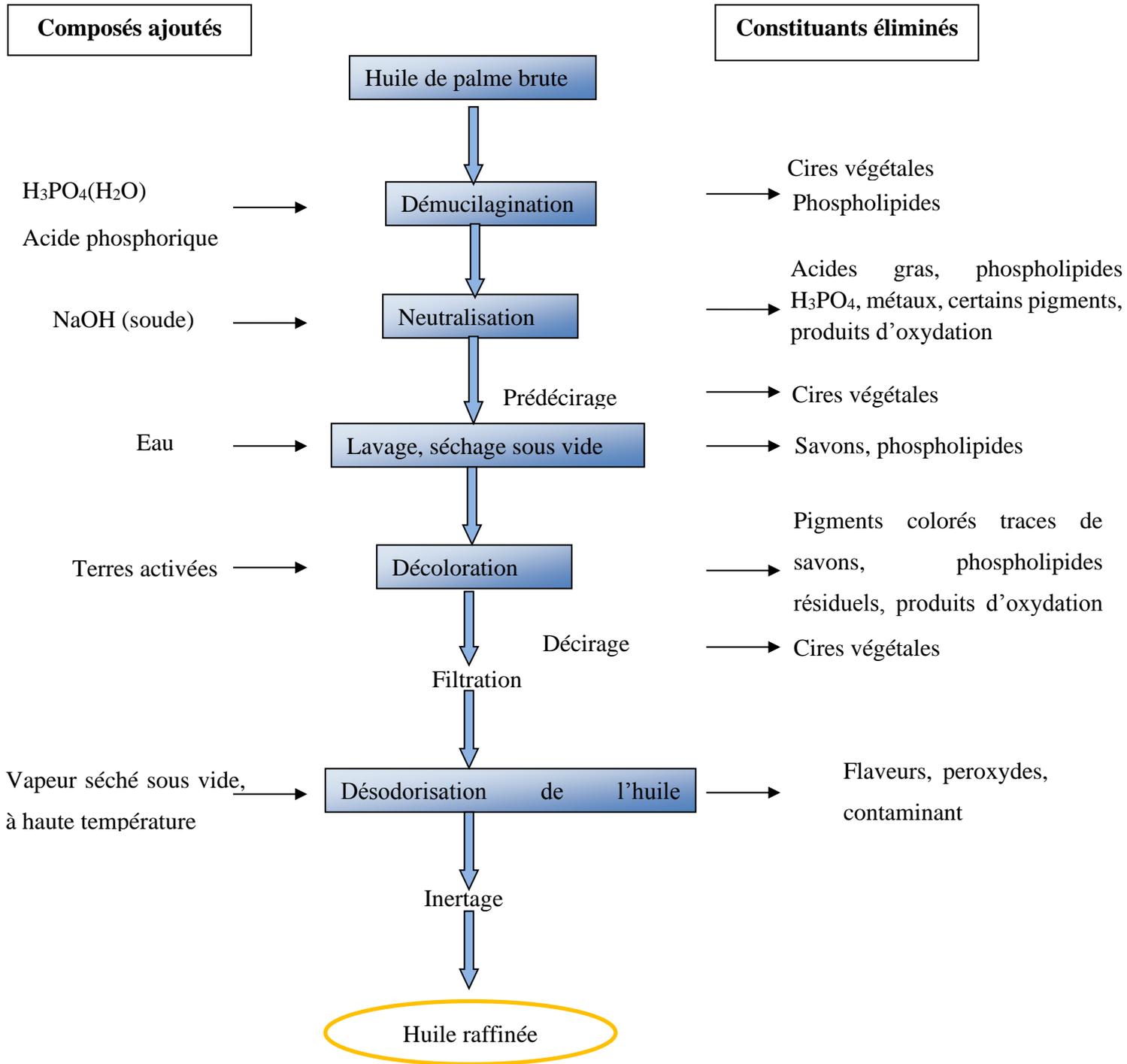


Figure 12 : Schéma des différentes opérations du raffinage
(Pages, 2008)

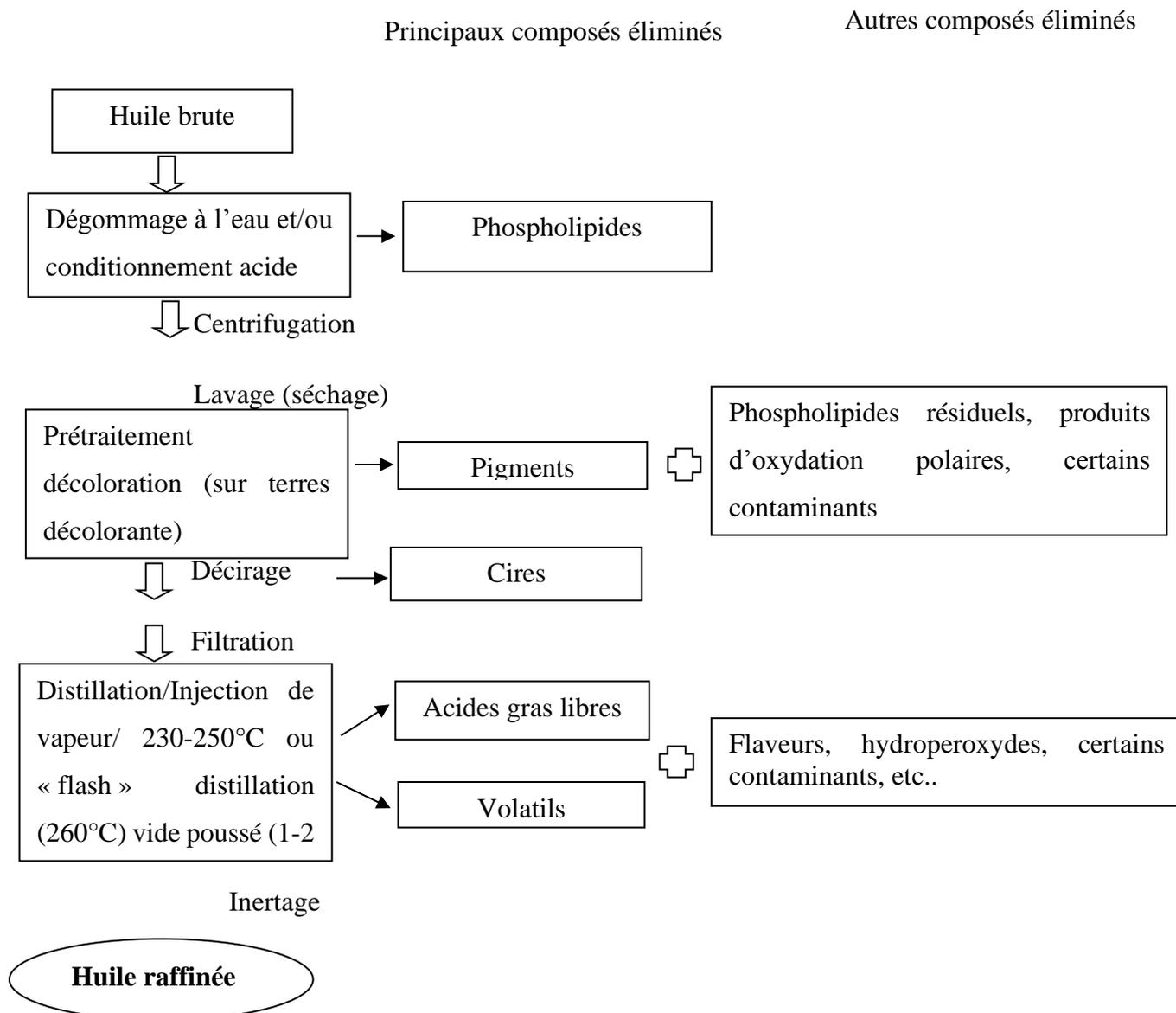


Figure 13 : Raffinage par distillation neutralisante (raffinage « physique ») : étapes et composés éliminés

(Pages *et al.*, 2010)

I.2.3. Usages de l'huile de palme

Dans les pays producteurs, l'huile de palme brute est présente dans leur alimentation. Elle sert d'huile de friture et de matière grasse pour les pâtisseries (**Lefèvre, 2015**). En France, 80 % de l'huile de palme raffinée est utilisée dans l'agroalimentaire notamment pour son coût attractif et sa bonne stabilité. Puis, 20 % sont destinés à l'oléochimie, aux produits d'hygiène, les médicaments et les biocarburants (**Delacharlerie et al., 2011**). De plus, elle agit comme un très bon agent de transmission de la chaleur pendant la cuisson (**Le Guillou, 2007**). Elle représente environ 23% des ingrédients des pâtes à tartinée. Elle est également retrouvée dans de nombreuses margarines, les crèmes glacées, la pâte à pizza, la plupart des plats cuisinés, les laits infantiles, etc ...

Des dérivés d'huile de palme et de palmiste sont utilisés dans la fabrication de nombreux produits cosmétiques, d'hygiène et dans certains médicaments. Il y a près de 150 dérivés utilisés (**Lefèvre, 2015**) (**Figure 14**).

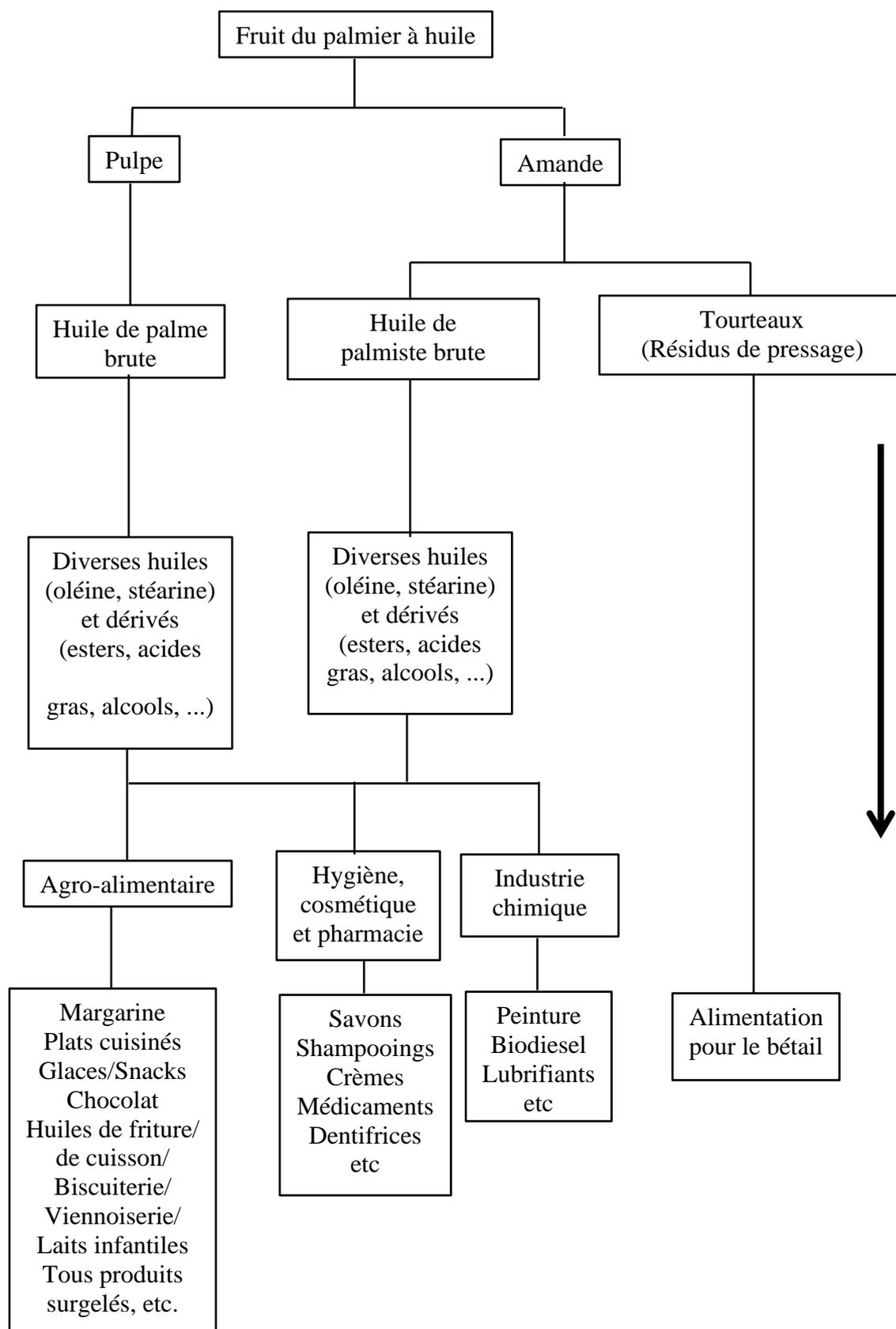


Figure 14: Principales utilisations de l'huile de palme

(Delacharlerie et *al.*, 2011; Lefèvre, 2015)

I.2.4. Constituants de l'huile de palme

L'huile de palme brute est composée d'une grande variété de constituants (**Figure 15**). Les triglycérides sont très largement majoritaires (95-99 %). Ils sont composés de glycérol (3-5 %) et d'acides gras (90-95 %). A côté des constituants majeurs glycéridiques, l'huile de palme brute contient des composés mineurs qui sont : la vitamine E (tocophérols et tocotriénols), les caroténoïdes, les phytostérols, le squalène, les composés phénoliques, etc. (**Sambanthamurthi et al., 2000 ; Morin et Pagès-Xatant-Parès, 2012**).

I.2.4.1. Constituants majeurs de l'huile de palme

L'huile de palme contient près de 100 % de lipides sous forme de glycérides qui représentent les constituants majeurs (**Figure 15**). Elle contient environ 50 % d'acides gras saturés et 50 % d'acides gras insaturés (**Lecerf, 2013**). Egalement, les acides gras insaturés qu'elle renferme sont l'acide oléique (36 à 38%) et l'acide linoléique (10%). Les principaux AG de l'huile de palme sont les acides myristique (C14 :0), palmitique (C16 :0), stéarique (C18 :0), oléique (C18 :1) et linoléique (C18 :2). Les doubles liaisons présentes dans les acides gras insaturés sont de configuration *cis*. (**Mondé et al., 2008; Lecerf, 2013; Lombard, 2017**). Les deux acides gras majoritaires de l'huile de palme sont donc l'acide palmitique et l'acide oléique (**Lecerf, 2011**) (**Tableau I**).

I.2.4.2. Constituants mineurs de l'huile de palme

Lors de l'extraction d'huile à partir du mésocarpe des fruits du palmier à huile, d'autres composants cellulaires solubles dans l'huile sont également extraits. Il s'agit des constituants dits « mineurs » de l'huile de palme. Ces derniers sont représentés par des monoglycérides, des diglycérides, des acides gras libres les phosphatides, les stérols, les pigments, la vitamine E (les tocots) et les traces de métaux, (**Cottrell, 1991; Sambanthamurthi et al., 2000**) (**Tableau II**). Les constituants mineurs peuvent être divisés en deux groupes. Le premier groupe se compose des dérivés d'acides gras (les saponifiables), tels que les glycérides partiels (mono et diglycérides), les phosphatides, les esters et les stérols. Le deuxième groupe est constitué de composés non liés chimiquement aux acides gras (les insaponifiables), tels que les hydrocarbures, les alcools aliphatiques, les stérols libres, la vitamine E, les pigments et les traces de métaux (**Goh et Choo, 1985**) (**Figure 15**).

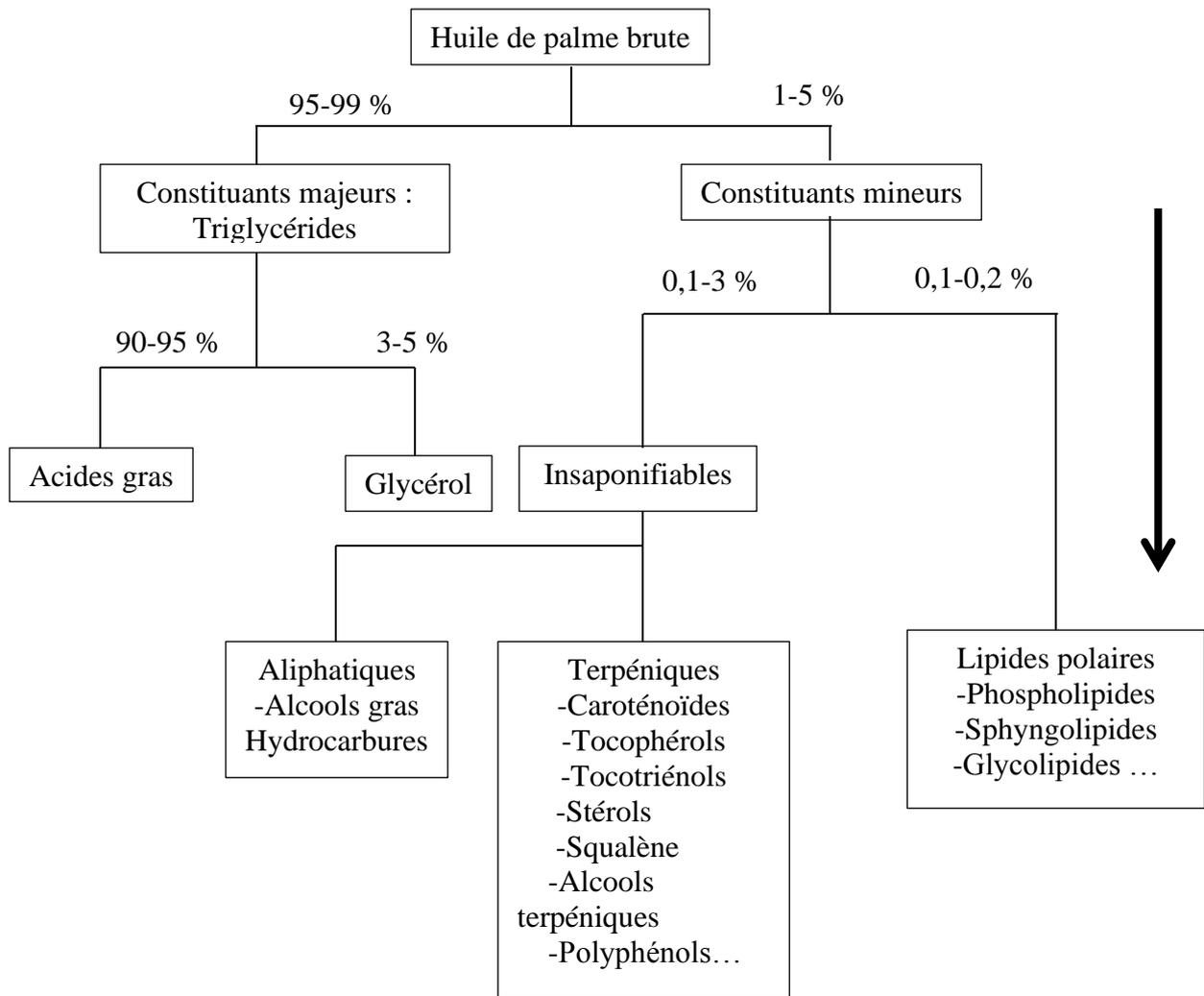


Figure 15 : Constituants majeurs et mineurs de l'huile de palme
(Morin et Pagès-Xatant-Parès, 2012)

Tableau I : Teneur en acides gras de l'huile de palme brute
(Sundram et al., 2003; Diomandé, 2007; Mondé et al., 2008; Lecerf, 2013)

Acides gras	Proportion (%)
Acides gras saturés	45-55
Acide laurique C12 :0	< 0,2
Acide myristique C14 :0	0,5-2
Acide palmitique C16 :0	39,5-47,5
Acide stéarique C18 :0	3,5-6
Acide arachidique C20:0	< 0,4
Acides gras monoinsaturés	38-45
Acide palmitoléique C16 :1	< 0,2
Acide oléique C18 :1	36-44
Acide gadoléique C20:1	< 0,1
Acides gras polyinsaturés	9-12
Acide linoléique C18:2	9-12
Acide linoléique C18:3	< 0,5

Tableau II : Composés non glycéridiques (insaponifiables) de l'huile de palme brute (Sambanthamurthi et *al.*, 2000)

Composés	Pourcentage (%)	Quantité en ppm (mg/kg)
Caroténoïdes		500 – 700
α -carotène	36,2	
β - carotène	54,4	
γ -carotène	3,3	
Lycopène	3,8	
Xanthophylles	2,2	
Vitamine E		500 – 800
α -tocophérol	28	
α -tocotriénol	29	
γ -tocotriénol	28	
δ -tocotriénol	14	
Stérols		~300
Cholestérol	4	
Campestérol	21	
Stigmastérols	21	
β -sitostérols	63	
Phosphatides		500 – 1000
Alcools totaux		~800
Alcools triterpènes	80	
Alcools aliphatiques	20	

I.2.5. Propriétés physico-chimiques de l'huile de palme

Les propriétés physico-chimiques de l'huile de palme sont rassemblées dans le **tableau III**. La composition chimique de l'huile de palme explique ses propriétés physiques. Avec 40 à 50 % d'acides gras saturés, son point de fusion est élevé, se situant à 36 et 40 °C. Autrement dit, au-delà de cette température, elle passe de la consistance solide à la consistance liquide. Sa faible teneur en acides gras polyinsaturés explique sa faible oxydabilité, et le fait qu'elle ne rancisse pas dans des conditions convenables de conservation. Sa teneur élevée en acides gras saturés est à l'origine de sa stabilité à la cuisson.

**Tableau III : Propriétés physico-chimiques de l'huile de palme
(Hartley, 2015)**

Propriétés	Valeurs
Point de fusion (°C)	36- 40
Densité relative (20 °C)	0,891-0,899
Indice de réfraction	1,454- 1,456
Indice de saponification (mg KOH/g d'huile)	190-209
Indice d'iode	50,0-55,0
Insaponifiables (g/kg)	≤ 12

I.2.6. Oxydation de l'huile de palme

La dégradation des lipides est généralement liée à l'auto-oxydation ou à une oxydation thermique. L'auto-oxydation se produit durant le stockage en présence de l'oxygène, des enzymes lipoxygénase ou de la lumière. Ce phénomène est plus rapide pour certains acides gras comme l'acide α -linoléique ($\omega 3$) et l'acide linoléique ($\omega 6$) qui respectivement s'oxydent 10 et 20 fois plus rapidement que l'acide oléique (**Dupin, 1992**).

L'auto-oxydation favorise la formation de polymères de poids moléculaires élevés ce qui entraîne l'épaississement des corps gras. L'apparition dans le milieu de cétones, d'aldéhydes et d'époxydes est à l'origine de l'odeur et du goût désagréable des corps gras. A un niveau d'altération moindre, on peut craindre que l'ingestion des graisses oxydées ait des effets néfastes sur la qualité nutritionnelle des denrées, par exemple en entraînant la destruction des vitamines sensibles à l'oxydation telle que la vitamine A, ou la dégradation d'acides gras essentiels qui sont indispensables à l'organisme. Il faut noter également que les produits issus de la dégradation des lipides peuvent être toxiques pour l'organisme. Les répercussions économiques peuvent être importantes car les denrées alimentaires deviennent inconsommables. Il suffit de très faibles doses de matières grasses oxydées (de l'ordre de 1%) pour rendre un aliment impropre à la consommation car le goût de rance apparaît nettement. D'où l'intérêt des industriels d'avoir recours à des antioxydants tels que la vitamine E pour limiter ces phénomènes (**Cuvelier et Maillard, 2012**).

La décomposition thermique de l'huile est observée lors d'un chauffage prolongé à température importante c'est-à-dire supérieure à 200°C. Cette décomposition entraîne une destruction des acides gras essentiels entraînant une perte des qualités nutritionnelles. Cette décomposition

thermique peut également occasionner la formation de composés toxiques tels que le glycidol, le 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) et le 2-monochloropropane-1,3-diol (2-MCPD), composés formés au cours du raffinage des huiles (**Dupin, 1992; EFSA, 2016**).

I.2.7. Effets de l'huile de palme sur la santé

L'huile de palme contient 50% d'acides gras saturés totaux dont 40% d'acide palmitique (également présent dans d'autres huiles végétales, la viande, le lait, le beurre et les fromages) et seulement 3,5 à 6% d'acide stéarique. Or, les acides gras à chaîne moyenne comme les acides myristique, laurique et palmitique sont les plus hypercholestérolémiant des acides gras saturés alors que les acides à longue chaîne comme l'acide stéarique sont moins cholestérolémiant. Un taux de cholestérol total supérieur à 2 g/L (chez une personne n'ayant aucun problème de santé) constitue un facteur de risque cardiovasculaire, donc les acides gras saturés sont impliqués dans les pathologies cardiovasculaires (**Graille, 2003**).

Les lipides sont intégrés dans l'alimentation quotidienne. L'Anses a actualisé les apports nutritionnels conseillés (ANC) en lipides au vu des données disponibles depuis 2001. En l'absence d'excès d'apport énergétique, l'Anses recommande que la part de lipides atteigne 35 à 40 % de l'apport énergétique total (2000 kcal). Des ANC sont définis pour les différentes catégories d'acides gras afin de couvrir les besoins physiologiques et aussi de prévenir certaines maladies. Notamment, pour le DHA (un acide gras oméga 3), un ANC de 250 mg/j est établi. L'Anses recommande globalement de consommer ni en grande quantité, ni trop peu de lipides et d'avoir une alimentation lipidique variée, associant graisses d'origine animale et d'origine végétale, dans la limite de l'apport énergétique total (**Guy-grand, 2017**). Les ANC sont établis pour le sujet adulte (homme ou femme) pour un apport énergétique de 2000 kcal (**Tableau IV**).

**Tableau IV : Recommandations des quantités d'acides gras à ingérer/jour
(Lefèvre, 2015)**

	Apport énergétique total (%)	Quantité (g/jour)
Lipides totaux	35 – 40	78 – 89
Acides gras essentiels		
Acide linoléique	4	9
Acide α-linoléique	1	2
Acides gras semi-essentiels		
EPA		0,25
DHA		0,25
Acides gras saturés totaux	≤ 12	≤ 27
Acides laurique + miristique	≤ 8	≤ 18
+palmitique		
Acide gras monoinsaturé		
Acide oléique	15 – 20	33 - 44

Les quantités recommandées ont pour but d'apporter suffisamment de lipides pour que ceux-ci puissent exercer leurs effets utiles et bénéfiques sur le fonctionnement de l'organisme. Ce sont les constituants essentiels des membranes biologiques de toute cellule vivante. Consommer des lipides permet d'apporter de l'énergie, des vitamines et des acides gras essentiels. Les lipides alimentaires ont un rôle important dans le développement de la plaque d'athérome et la prévention de ses complications. Aussi, le déséquilibre positif entre les apports et les dépenses énergétiques favorise l'accumulation de tissu adipeux et le développement de l'obésité. De ce fait, la limitation de leur apport au raisonnable (35 à 40 %) est important car comme pour tout nutriment, l'excès de lipides serait néfaste pour la santé (Awada, 2013). En effet, plus de 90 % des lipides ingérés quotidiennement sont sous forme de triacylglycérols (TG) (Awada, 2013).

I.2.8. Effets de l'huile de palme sur les lipides plasmatiques

L'analyse de 18 études randomisées concernant l'effet de l'huile de palme sur les lipides à jeun, comparativement à d'autres matières grasses, a mis en évidence les données suivantes (**Lecerf, 2013**):

- Les effets de l'huile de palme sur le cholestérol LDL dépendent du régime alimentaire global, notamment du pourcentage de lipides dans la ration, des quantités d'huile de palme apportées, de la quantité d'acide linoléique et de cholestérol alimentaire dans la ration. Globalement, l'huile de palme induit une élévation du cholestérol LDL proche de celle de l'huile d'arachide, du tournesol oléique, ou de l'huile d'olive. Elle induit une élévation plus forte du cholestérol LDL que l'huile de soja ou de tournesol, mais moins que les matières grasses animales ou que les huiles végétales partiellement hydrogénées. Riche en AGS, elle augmente constamment le cholestérol HDL. Elle abaisse les triglycérides comparativement à l'huile d'olive.
- En post-prandial, l'analyse de six études montre que l'huile de palme induit des réponses lipémiques peu différentes de celle des autres huiles (**Lecerf, 2013**). Toutefois, l'huile de palme entraîne une lipémie post-prandiale plus faible que les huiles plus insaturées. Le rôle de la position des acides gras sur le glycérol pourrait intervenir. Une méta-analyse des effets de l'huile de palme sur les marqueurs de risque cardiovasculaire (**Fattore et al. 2014**) montre qu'elle entraîne, à la fois, une élévation plus importante sur le cholestérol LDL et sur le cholestérol HDL que les huiles riches en acide stéarique, en acide oléique et en acide linoléique. Il faut souligner cependant que les auteurs ne trouvent pas d'effet de la substitution chez les sujets jeunes, ou en cas d'apport lipidique faible.

I.2.9. Effets des acides gras saturés (AGS) sur le risque cardiovasculaire

Dans les années 1960, les résultats de l'étude épidémiologique de Framingham (**Kannel et al., 1971**) ont mis en évidence une association étroite entre les dyslipidémies et le développement des MCV chez l'homme. D'autres études plus récentes ont montré que les dyslipidémies étaient le facteur de risque modifiable le plus significatif dans le développement des MCV (**Downs et al., 1998**) in (**Walrand et al., 2010**). Les dyslipidémies définissant un facteur de risque pour l'athérosclérose et les MCV sont liées principalement à une hyperlipidémie. Celle-ci se caractérise par des concentrations élevées en cholestérol dans le plasma, des faibles

concentrations HDL-cholestérol et/ou de forts taux de triglycérides plasmatiques. Plusieurs études ont clairement montré que, selon les sources alimentaires, les AGS avaient des effets radicalement opposés sur le risque cardiovasculaire : c'est le cas, notamment, dans l'étude "Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis" (MESA), (**De Oliveira et al., 2012**). Cette étude indiquait une augmentation du risque cardiovasculaire si la source de l'AGS est carnée, et une forte diminution du risque si la source est laitière. L'intérêt des AGS, doit être interprété en fonction de la comparaison des nutriments de la substitution. Ainsi, une consommation accrue de glucides, dans un contexte de syndrome métabolique, est nettement moins favorable chez les sujets coronariens qu'un apport relativement élevé en AGS. En effet, les premiers induisent des LDL petites et denses, oxydables et athérogènes. La controverse sur les AGS persiste cependant et mérite prudence (**Schwab et Uusitupa, 2015**).

I.2.10. Synthèse du cholestérol et effet sur le risque cardiovasculaire

Le cholestérol présent dans l'organisme peut avoir deux sources, soit l'alimentation qui constitue l'apport exogène, soit la biosynthèse du cholestérol, le foie étant capable d'en produire à lui seul la moitié (**Repa et Mangelsdorf, 2000**). On considère que chez l'humain, l'apport de cholestérol par la nourriture est compris entre 300 et 500 mg par jour alors que la production endogène est comprise entre 600 et 900 mg par jour. Sur ces 1200 mg de cholestérol acquis en moyenne, entre 400 et 600 mg sont dégradés en acides biliaires, 600 mg sont sécrétés dans la bile, 85 mg sont utilisés pour le renouvellement des membranes des cellules et 50 mg sont utilisés pour la synthèse d'hormones stéroïdes. Dans des conditions physiologiques normales, la balance entre apport et utilisation du cholestérol par l'organisme est équilibrée (**Repa et Mangelsdorf, 2000**).

Le cholestérol issu de l'alimentation est capté au niveau de l'intestin, exporté vers le foie puis distribué aux autres tissus par les lipoprotéines de faible densité (LDL). L'élimination se fait par le chargement sur les lipoprotéines de haute densité (HDL) qui suivent le cheminement inverse vers le foie (transport inverse du cholestérol) schématisé à la **Figure 16 (Chang et al., 2006)**.

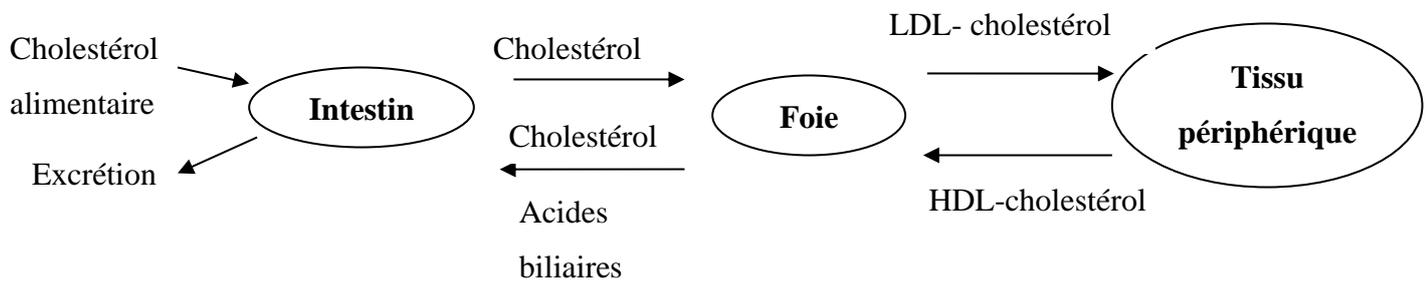


Figure 16 : Schéma simplifié de la circulation du cholestérol dans l'organisme
(Chang *et al.*, 2006)

En plus de cet apport exogène, les cellules des différents tissus de l'organisme sont capables de produire leur propre cholestérol. La biosynthèse du cholestérol est réalisée à partir de l'acétate, par une succession de 19 réactions enzymatiques dont l'étape limitante est la synthèse de mévalonate par la 3-Hydroxy-3-MéthylGlutaryl-Coenzyme A réductase (HMGCR) (Brown et Goldstein, 1980). La synthèse endogène du cholestérol représente 75% du cholestérol total (Figure 17). Ce cholestérol endogène est produit au niveau du foie essentiellement, mais aussi dans l'intestin; à partir de substrats énergétiques (acétyl CoA) et de l'enzyme clé de la synthèse du cholestérol qui est l'hydroxyméthyl-glutarylcoenzyme A réductase (HMG CoA réductase). La régulation de cette enzyme dépend de la concentration du cholestérol intracellulaire. En effet, plus la cellule contient de cholestérol libre, plus les récepteurs pour son absorption vont être inhibés et plus cette HMG CoA réductase va être régulée (Akram, 2017).

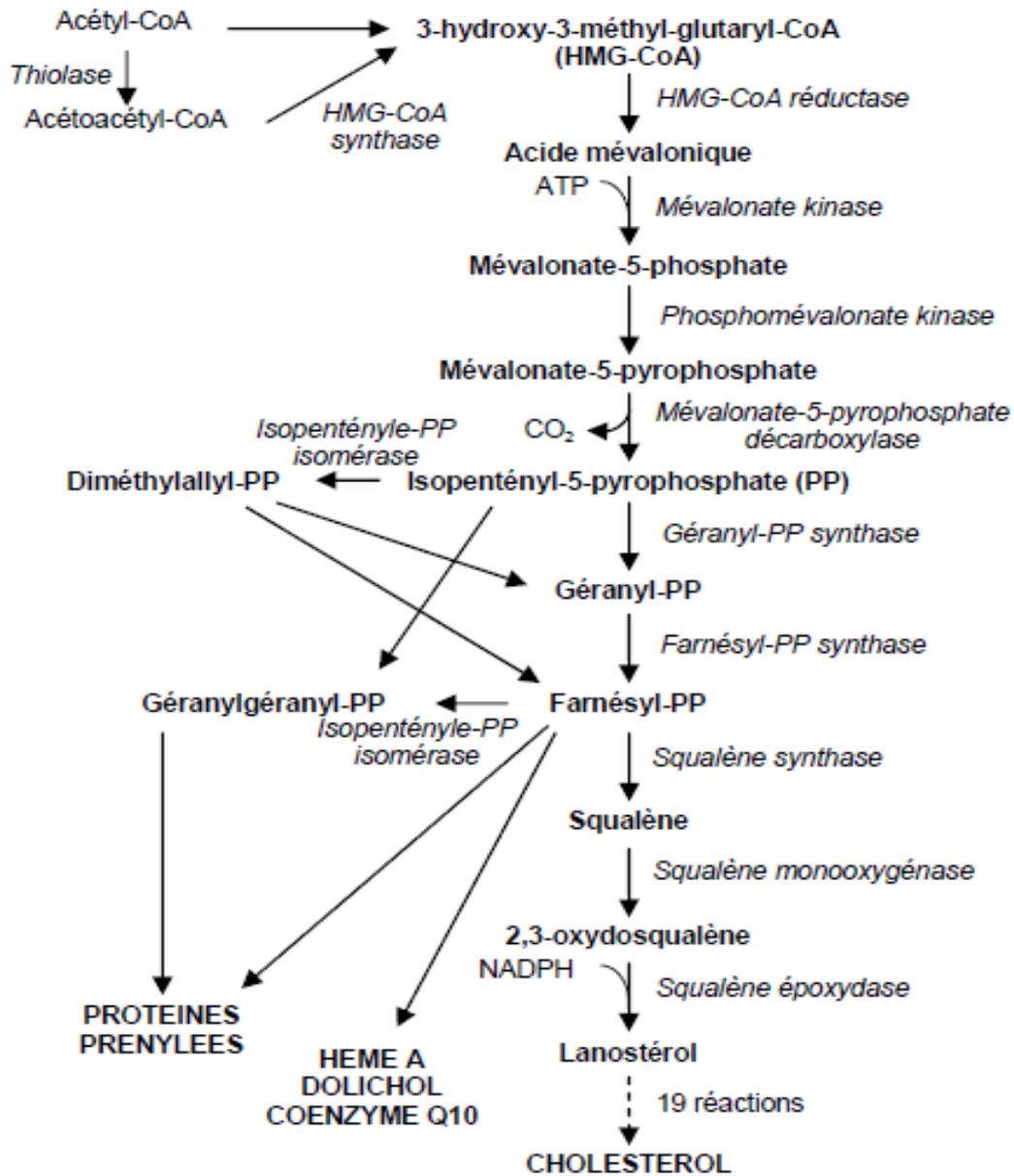


Figure 17: Voie de synthèse du cholestérol chez l'homme
(Méhul et Weinman, 2013 in Akram, 2017)

I.2.11. Études épidémiologiques du risque cardiovasculaire lié à la consommation de l'huile de palme

La prévalence des maladies cardiovasculaires est longtemps restée faible dans les populations des pays traditionnellement consommateurs d'huile de palme brute (Malaisie, Indonésie, Côte d'Ivoire...). Mais, il faut admettre, d'une part, que les apports lipidiques sont en général bas, d'autre part, que les autres facteurs de risque étaient jusqu'à présent peu importants, enfin, que l'huile de palme est consommée rouge, avec les avantages que cela peut avoir du fait de sa richesse en caroténoïdes et en tocotriénols. Plusieurs études épidémiologiques ont été publiées.

- En 2001, Zhang et Kesteloot (**Zhang et Kesteloot, 2001**) ont publié une étude écologique comparant la mortalité cardiovasculaire et la consommation alimentaire, telles que fournies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) des Nations-Unies, à Hong Kong et à Singapour, et ils émettent l'hypothèse que la différence de mortalité observée entre ces deux villes asiatiques pourrait être due à l'huile de palme.
- En 2005, l'équipe de Campos et de Baylin, au Costa Rica (**Kabagambe et al., 2005**), a analysé les apports lipidiques et la composition en acides gras du tissu adipeux dans une étude cas-témoins, de sujets ayant eu ou n'ayant pas eu d'infarctus du myocarde (IDM) non fatal : les consommateurs d'huile de palme ont un risque accru d'IDM comparativement aux consommateurs d'huile de soja, mais ce risque n'est pas différent de celui des consommateurs d'huile de soja partiellement hydrogénée.
- En 2011, une équipe d'économistes de la santé (**Chen et al., 2011**) calcule que la consommation d'1 (un) kg d'huile de palme/an/ personne augmente la mortalité coronarienne de 68/100 000 dans les pays en développement, et de 17/100 000 dans les pays développés. Mais, l'on peut douter d'une étude n'incluant, ni la Malaisie, ni l'Indonésie, sur cette question, et d'une étude ne retrouvant pas de lien entre tabagisme et mortalité cardiovasculaire.
- Enfin, la dernière étude (**Basu et al., 2013**) est une étude de simulation de l'effet d'une taxe palme sur la mortalité cardiovasculaire en Inde, sur la base des équations liant AGS et cholestérol. Mais le lien entre AGS et risque cardiovasculaire est remis en cause. Ainsi, aucune de ces études ne peut emporter la conviction compte-tenu de leurs limites méthodologiques. Mais, on ne peut pas non plus exclure que l'hypothèse du lien entre consommation d'huile de palme et risque cardiovasculaire existe : il passerait alors par la consommation excessive des aliments qui en contiennent (**Lecerf, 2017**).

I.2.12. Bénéfices nutritionnels liés à la consommation de l'huile de palme

I.2.12.1. Vitamine A

La vitamine A (ou rétinol) est un micronutriment liposoluble impliqué dans de nombreuses fonctions biologiques telles que le développement embryonnaire, les processus de croissance cellulaire, la vision ou encore l'immunité (**Maden et Hind, 2003**). Elle est apportée à l'organisme sous la forme de différents précurseurs présents dans notre alimentation. Les produits d'origine animale (huile de foie de poissons, viande, lait entier, fromage, œuf...) contiennent des esters de rétinol. Les végétaux (fruits, légumes et huiles végétales) contiennent essentiellement des provitamines A (ou caroténoïdes). L'apport journalier recommandé en vitamine A est de 750 µg ER/jour pour l'homme adulte et de 650 µg ER/jour pour la femme adulte et l'apport maximal tolérable est de 3000 µg ER/j pour les adultes (**EFSA, 2015**).

Les altérations développementales et visuelles ne sont pas les seules conséquences de la carence en vitamine A. En effet, il est actuellement bien établi que la vitamine A joue un rôle essentiel dans les processus cognitifs (**Lane et Bailey, 2005**). La vitamine A compte de nombreux dérivés métaboliques, composés naturels ou analogues synthétiques, rassemblés sous le terme de "rétinoïdes", parmi lesquels certains sont illustrés sur la **figure 18**. Dans la cellule cible, un métabolisme oxydatif conduit à la production de rétinal à partir de rétinol, qui peut ensuite être converti de manière irréversible en acide rétinoïque (AR). La fonction alcool (-OH) du rétinol peut également être estérifiée par un acide gras, pour former des esters de rétinol, ou rétinyl esters constituant la forme de stockage de la vitamine A dans l'organisme. Ainsi les principaux métabolites actifs de la vitamine A sont le rétinal, molécule essentielle pour la vision, et l'AR (acide 9-cis rétinoïque et acide tout-trans rétinoïque), puissant régulateur de l'expression génique (**Damien, 2014**).

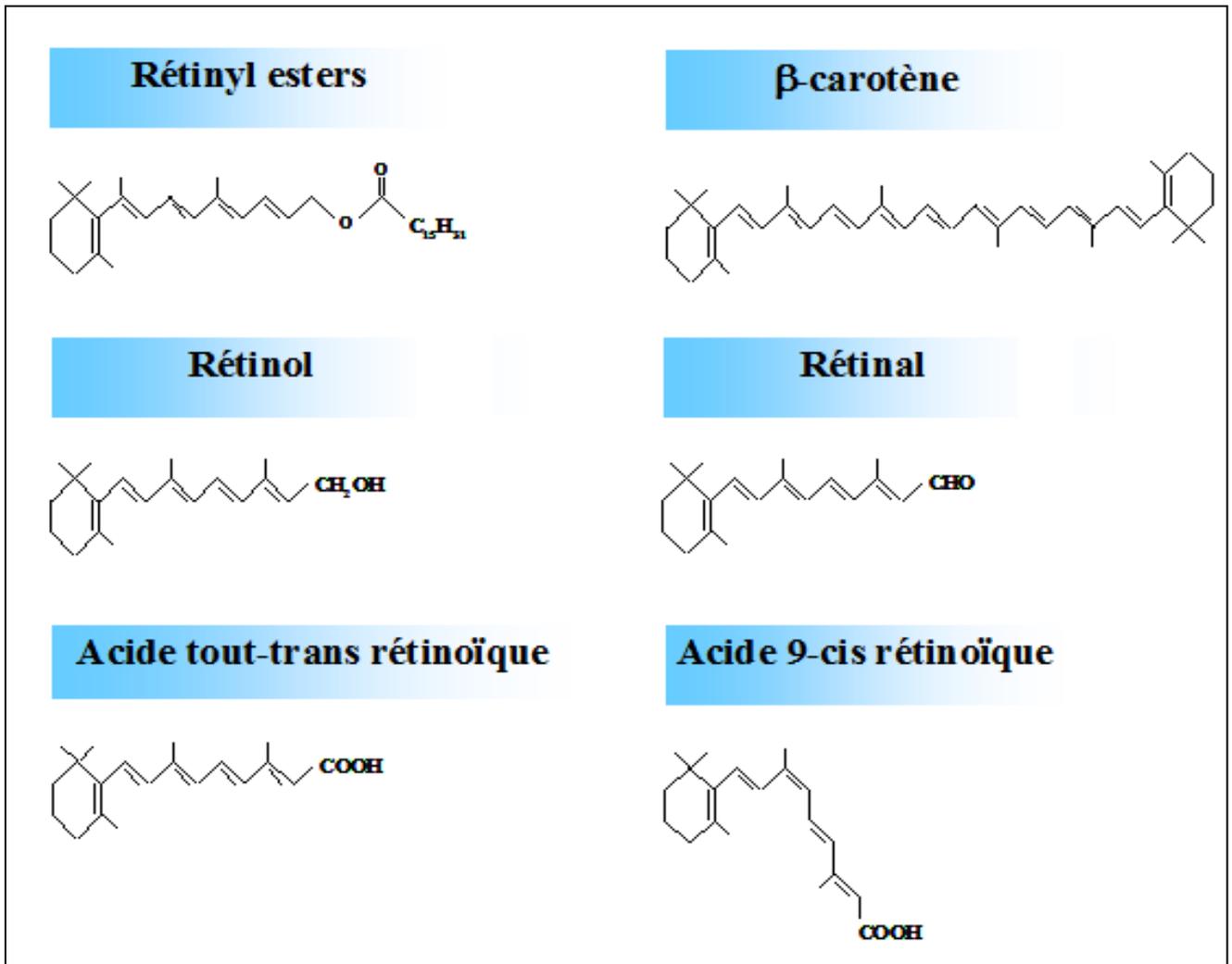


Figure 18 : Formules chimiques de quelques rétinoïdes

(Damien, 2014)

La vitamine A est apportée à l'organisme sous forme d'esters de rétinol par des produits d'origine animale : l'huile de foie de poissons, la viande, le lait entier, le beurre, les œufs, les fromages, etc. Les végétaux contiennent essentiellement des provitamines A, appelées caroténoïdes, qui sont des précurseurs que l'organisme est capable de transformer en rétinol au niveau de l'intestin. Les rétinoïdes apportés par l'alimentation sont absorbés au niveau de la muqueuse intestinale par les entérocytes. Dans ces cellules, ils sont métabolisés en rétinyls esters ou en rétinol, en fonction des besoins de l'organisme. Lorsque le statut en vitamine A est satisfaisant, ils sont transformés en rétinyls esters, puis stockés au niveau du foie. Dans le cas où l'organisme est en déficience, le rétinol n'est pas stocké mais directement utilisé dans les tissus cibles (Ross et al., 2001).

Les caroténoïdes sont des pigments lipophiles sensibles à la lumière (rayonnement ultraviolet) et à la chaleur. Leur structure moléculaire leur confère dans certaines conditions (oxydation par

photosensibilisation) un pouvoir antioxydant par désactivation de l'oxygène activé (forme singulet). Présents en forte quantité (1 à 2 g/kg) dans l'huile de palme rouge, les autres huiles végétales en contiennent quelques centaines de mg/kg; ces pigments sont éliminés au raffinage (**Morin et Pages-Xatart-Pares, 2012**). L'huile de palme rouge contient environ 11 types de caroténoïdes différents, de profil variable selon les espèces. C'est l'aliment le plus riche en bêta-carotène, précurseur de la vitamine A (**Rice et Burns, 2010**). Comparativement aux autres sources végétales de provitamines A, l'HPR présente un certain nombre d'avantages : sa teneur en caroténoïdes, particulièrement en β -carotène, est très élevée; elle ne présente pas de matrice végétale et par conséquent ses caroténoïdes ont une meilleure biodisponibilité; les caroténoïdes sont dans un support lipidique, lipides indispensables à la formation des micelles qui augmentent l'absorption des caroténoïdes. Tous ces éléments mis ensemble font de l'huile de palme rouge la meilleure source végétale de provitamine A. Plusieurs études ont porté sur l'efficacité expérimentale de l'huile de palme rouge à améliorer la concentration du rétinol sérique et à lutter contre la carence en vitamine A. L'une des premières est celle de **Rukmini (1994)** qui concluait que « les pays en voie de développement ne devraient pas hésiter à mettre en œuvre des stratégies pour augmenter la consommation de l'huile de palme rouge dans la lutte contre la carence en vitamine A ».

I.2.12.2. Vitamine E

Le terme vitamine E (**figure 19**) renferme une famille de huit molécules apparentées liposolubles dont 4 tocopherols et 4 tocotriénols (**Colombo, 2010; Abu-Shahin et al., 2013**). Ces familles de vitamine E possèdent une chaîne latérale à 16 atomes de carbone. Celle des tocophérols est saturée et les tocotriénols présentent une chaîne latérale insaturée ayant 3 doubles liaisons en position 3, 7 et 11 (**Karmowski et al., 2015**). Le terme « tocol » se rapporte au 2-méthyl-2-(4,8,12-triméthyltridécyloxy)chroman-6-ol (**Eitenmiller et Lee, 2004**). Ces deux groupes de vitamines E se présentent sous différentes formes (α -, β -, γ - et δ -), déterminées à partir du nombre et de la position de groupement méthyl (- CH₃) sur le noyau 6-OH-chromane (**Saini et Keum, 2016**). La vitamine E est un nutriment essentiel pour les humains, les animaux et est synthétisée par les plantes et les cyanobactéries (**Müller et al., 2010**).

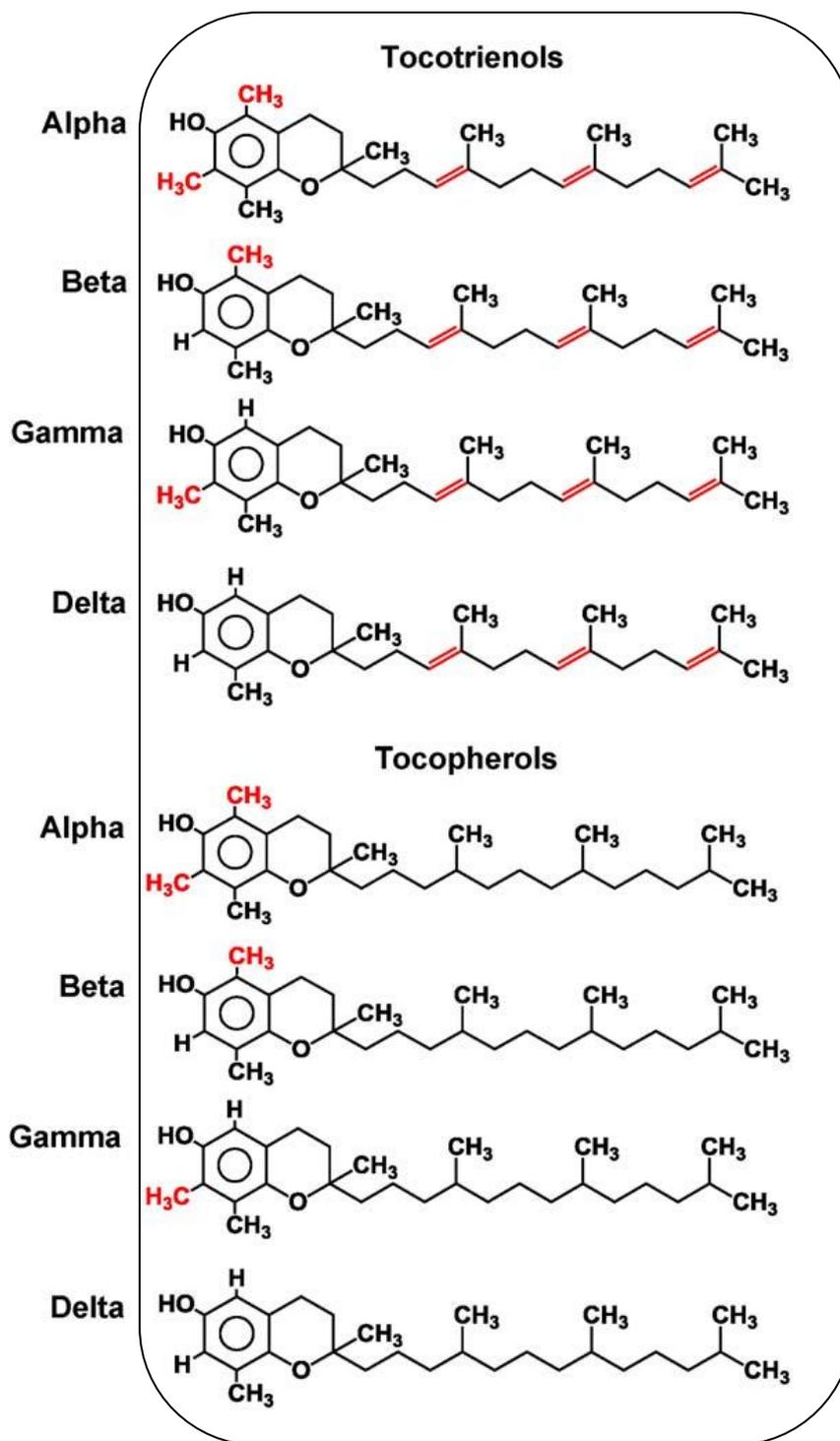


Figure 19 : Structures chimiques et positions méthyliques des tocophérols et des tocotrienols, (Aggarwal et al., 2010)

Pour les tocophérols, la forme alpha est la plus active (100 %), les formes beta et gamma présentent des activités plus faibles (respectivement 50 % et 10 %) et la forme delta ne possède qu'un très faible pouvoir vitaminique E (Morin et Pages-Xatart-Pares, 2012). Ils jouent un rôle d'antioxydant biologique, protecteur des acides gras polyinsaturés au niveau des membranes cellulaires et des lipoprotéines. Leur pouvoir antioxydant est reconnu et contribue

à protéger de nombreux produits formulés (additifs E306 à E309). La vitamine E est exclusivement synthétisée par les organismes photosynthétiques et les tocophérols existent dans la plupart des plantes. Les huiles végétales, les céréales et les fruits sont les principales sources d'apports en vitamine E dont les formes les plus fréquemment rencontrées sont les formes α - et γ -tocophérol (**Landrier, 2011**).

Les grains de céréales, comme l'avoine, le seigle et l'orge, ainsi que les huiles végétales telles que l'huile de palme, le son de riz et les huiles de germe de blé sont les principales sources de tocotriénol (**Sundram et al., 2003**). L'huile de palme, en particulier, est une des meilleures sources naturelles en tocotriénol avec jusqu'à 800 mg de tocotriénol/ kg dans l'huile brute (**Sen et al., 2006**).

Les nutriments antioxydants, tels que les tocotriénols et d'autres membres de la famille de la vitamine E, sont bénéfiques dans la prévention de certaines maladies chroniques. Le tocotriénol réduirait le cholestérol sanguin à travers l'inhibition de la 3-hydroxy-3-méthylglutaryl coenzyme A réductase, enzyme intervenant dans les premières réactions de la biosynthèse du cholestérol dans le foie (**Cottrell, 1991; Rukmini, 1994**). Chez l'animal, des tocotriénols exercent des effets anticancérogènes (**Do, 2002; Sundram et al., 2003**), notamment par une diminution des marqueurs de la pro-angiogenèse (**Selvaduray et al., 2012**). De nombreuses données sont en faveur du caractère cardioprotecteur des tocotriénols (**Vasanthi et al., 2012; Wong et Radhakrishnan, 2012**). Chez le rat, l'huile de palme rouge exerce des effets antiarythmiques (**Bester et al., 2010**) dans des modèles d'ischémie-reperfusion. Sur ce modèle d'ischémie-reperfusion, l'huile de palme rouge exerce aussi des effets favorables en diminuant le stress oxydatif qui joue un rôle dans cette pathologie (**Bester et al., 2010**). Cet effet passerait par la teneur élevée en tocotriénols et en caroténoïdes de l'huile de palme rouge. Les régimes riches en vitamine E ont montré la réduction des risques de maladies cardiovasculaires, la régulation de la synthèse du cholestérol dans le foie et réduction de la peroxydation lipidique et de l'agrégation plaquettaire (**Landrier et al., 2010**). Egalement, la vitamine E exerce les activités antioxydantes contre le stress oxydatif. La dose journalière recommandée de la vitamine E pour l'adulte est de 15 mg / jour (**Gomes et al., 2015**). Une limite de sécurité a été proposée par l'EFSA, à 300 mg/jour, s'appuyant sur une dose sans effet sur la coagulation sanguine de 540 mg/j (**EFSA, 2010**). Par ailleurs, la dégradation de la chaîne latérale de la vitamine E est présentée à la **figure 20**. La réaction débute par une ω -hydroxylation suivie de plusieurs étapes de β -oxydation. Ces différentes réactions aboutissent à la formation du

carboxyethyl hydroxychromanol. Ce dernier est le catabolite de la vitamine E, c'est-à-dire la substance issue de la dégradation de la vitamine E.

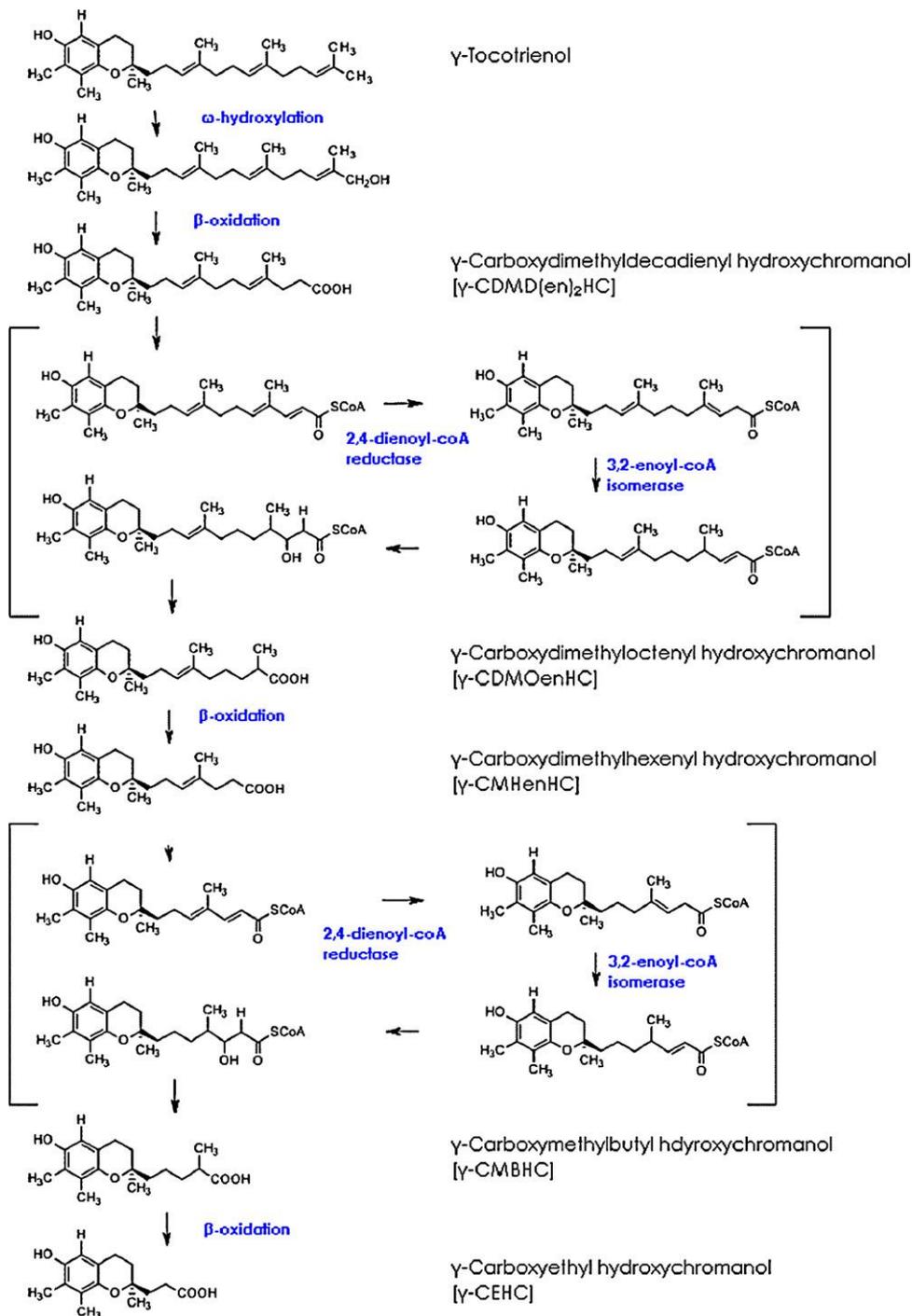


Figure 20 : Etapes de la dégradation de la chaîne latérale de la vitamine E (exemple du γ -tocotriénol).

Les réactions entre parenthèses ne s'appliquent qu'aux tocotriénols. (Birringer et al., 2002 in Gomes et al., 2015)

II. ANALYSE BENEFICE/RISQUE

II.1. Définition et contexte historique

Le bénéfice correspond à la probabilité d'apparition d'un effet positif et/ou de réduction d'un risque, dans un organisme, un système, une population ou un sous-groupe populationnel, en réaction à l'exposition à un agent (**EFSA, 2006**).

En parallèle du bénéfice, le risque correspond à la probabilité d'apparition d'un effet néfaste dans un organisme, un système, une population ou un sous-groupe populationnel, en réaction à l'exposition à un agent (**IPCS, 2004; Codex Alimentarius commission, 2005**). L'analyse du risque en consommation alimentaire est un concept apparu avec l'accord de Marrakech en 1994. En entérinant l'application des mesures sanitaires cet accord définit les règles fondamentales concernant l'innocuité des produits alimentaires ainsi que les normes sanitaires pour les animaux et végétaux. S'il permet aux pays d'établir leurs propres normes, il dispose aussi que les réglementations doivent avoir un fondement scientifique comme base de justification législative pour éviter les entraves au commerce international et à la circulation des denrées.

L'alimentation met en balance à la fois le bénéfice et le risque, dans la mesure où elle apporte des nutriments nécessaires pour couvrir les besoins physiologiques de l'organisme et qui en excès peuvent être néfastes, mais aussi des contaminants impliqués dans les processus physiopathologiques. Traiter le risque seul conduit souvent à des recommandations de type « limiter la consommation », pouvant conduire à la non-couverture d'apports nutritionnels. Et traiter du seul bénéfice peut conduire à l'émission de recommandations de type « augmenter la consommation », pouvant avoir des conséquences sanitaires liées au dépassement de doses toxicologiques. Aussi, l'analyse bénéfice/risque (**WHO, 1997; EFSA, 2006; WHO, 2006**) a-t-elle pour but de déterminer pour un régime alimentaire, un aliment, ou encore un ou plusieurs composés nutritionnels ou contaminants, un apport compatible avec le fonctionnement de l'organisme. Autrement dit, le but est d'établir d'une part le minimum nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme, à la réduction de la sévérité d'un effet néfaste, ou la prévention d'une pathologie. D'autre part, d'établir le maximum tolérable par l'organisme n'entraînant pas d'effet néfaste sur la santé générale ou sur un organe cible, en particulier chez les populations les plus sensibles (**Renwick et al., 2004**).

II.2. Méthodologies d'analyse du bénéfice et du risque

De nombreux travaux se sont penchés sur le risque et le bénéfice en alimentation. On peut relever des études traitant :

- du risque lié aux contaminants seul;
- des risques nutritionnels et/ou des bénéfices nutritionnels;
- des risques liés aux contaminants et des bénéfices nutritionnels.

La classification des différentes approches est la comparaison ou non des apports estimés ou de l'exposition dite externe. Dans le cas de l'utilisation des référentiels, il s'agit de calculer les apports nutritionnels ou l'exposition via l'alimentation et de comparer ces valeurs aux référentiels. Cette approche permet de qualifier une consommation donnée et d'en appréhender le risque et/ou le bénéfice, ou de calculer une consommation permettant d'atteindre un certain niveau de protection au regard des contaminants et/ou de s'assurer de la couverture des besoins nutritionnels (**Sirot, 2010**).

II.2.1. Evaluation du bénéfice nutritionnel

II.2.1.1. Définition

Un bénéfice nutritionnel se définit comme une augmentation de l'amplitude d'un effet positif sur la santé humaine et/ou comme une diminution d'un effet délétère pour la santé humaine. Les bénéfices nutritionnels sont associés aux bénéfices provenant de la consommation d'un aliment contenant des nutriments bénéfiques pour la santé. Un exemple de bénéfice nutritionnel est la réduction du taux d'infarctus du myocarde associée à la consommation d'acides gras omega-3, présents notamment dans les poissons gras (**Marckmann et Grønbaek, 1999**). Un autre exemple est la protection contre les risques de maladies cardio-vasculaires et de cancer attribuée aux composés antioxydants type vitamine C, caroténoïdes ou polyphénols, présents dans les fruits et légumes (**Dragsted et al., 1993; Wang et al., 1996**).

II.2.1.2. Etapes de l'évaluation du bénéfice nutritionnel

De manière générale, un aliment est considéré comme source de bénéfice quand il permet de couvrir une partie de nos besoins nutritionnels. Les besoins nutritionnels varient avec l'âge, le sexe, la corpulence, l'activité etc. Les apports nutritionnels conseillés (ANC) sont élaborés par les autorités nationales comme l'Anses, et représentent la quantité suffisante de différents paramètres nutritionnels nécessaires pour assurer la couverture des besoins nutritionnels de la quasi-totalité de la population (97,5 %). Contrairement à l'analyse du risque, l'analyse du bénéfice nutritionnel est un domaine assez récent. Les organismes chargés des normes alimentaires et en particulier de l'analyse des risques, l'Anses, l'EFSA et la Commission du Codex alimentarius, sont également chargés de l'analyse des bénéfices nutritionnels. L'EFSA a proposé en 2010 un guide sur l'évaluation du bénéfice dans les aliments sur la santé humaine. Il y est proposé d'adopter une démarche pour l'évaluation du bénéfice similaire à celle adoptée pour l'évaluation du risque :

- identification du bénéfice

Il s'agit d'identifier les effets positifs des nutriments sur la santé ou à rechercher la capacité des nutriments dans la diminution d'un ou plusieurs effets négatifs sur la santé.

- caractérisation du bénéfice

La caractérisation du bénéfice consiste à identifier l'effet positif des nutriments en fonction de la quantité ingérée c'est-à-dire réaliser une évaluation de la dose-réponse.

- évaluation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition du bénéfice nutritionnel consiste généralement à étudier les processus de dégradation du bénéfice (des vitamines) ou à identifier l'impact de certains procédés de fabrication comme le blanchiment ou la surgélation sur le bénéfice (**Selman, 1994; Sablani et al., 2006; Tosun et Yucecan, 2007**). Celle évaluation consiste également à réaliser une modélisation des pertes associées à certains traitements thermiques ou la diffusion (**Corradini et Peleg, 2006; Leskova et al., 2006; Van-Boekel, 2008**). La méthode utilisée dans notre travail consiste à évaluer les teneurs en provitamine A et en vitamine E au cours de la conservation et de la commercialisation des huiles de palme rouge et raffinée.

- caractérisation finale du bénéfice

Un bénéfice est généralement mesuré directement comme une réduction d'un risque de maladie, ou indirectement comme un changement sur des marqueurs de maladie ou des marqueurs de bonne santé (**EFSA, 2010**).

II.2.2. Généralités sur l'analyse des risques

II.2.2.1. Définition

II.2.2.1.1. Analyse du risque

De nombreuses définitions ont été données pour l'analyse de risque. Nous retiendrons celle de **Ahl et al. (1993)** reprise par **Cerf et al. (1996)** : l'analyse de risque est définie comme « une démarche scientifique faite dans le but d'identifier les dangers connus ou potentiels, d'en apprécier les risques, de les gérer et de communiquer à leur propos ». Elle peut être également définie comme une manière d'organiser les informations disponibles sur un événement potentiel donné, de les traduire en probabilités en tenant compte d'hypothèses, de la variabilité et de l'incertitude, et d'en déduire logiquement des décisions (**Toma et al., 2002**). Il convient d'établir une distinction entre risque et danger, ces deux notions étant liées mais distinctes.

II.2.2.1.2. Danger

Le danger est un agent chimique, biologique ou physique présent dans un aliment ou une propriété de cet aliment, susceptible d'avoir un effet adverse (**Codex Alimentarius, 2007**). Selon **Toma et al. (2002)**, cette notion peut être considérée sous deux angles. En effet, pour certains, un danger est constitué par tout agent biologique, chimique ou physique pouvant avoir un effet néfaste pour la santé (*Salmonella*, *Trichinella spiralis*) et pour d'autres le danger correspond à la maladie elle-même (la fièvre aphteuse, la salmonellose, la trichinellose, etc.).

II.2.2.1.3. Risque

Le risque est « la probabilité de la survenue d'un danger, combinée à l'importance de ses conséquences indésirables» (**Toma et al., 2002**). Le risque se définit comme étant une fonction de la probabilité d'un effet néfaste sur la santé et de la gravité de cet effet, résultant d'un (ou plusieurs) danger(s) dans un aliment (**Codex Alimentarius, 2007**).

II.2.2.1.4. Différents concepts de l'analyse des risques

L'analyse de risque, telle que définie par la FAO (organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) (**Anonyme 3, 1997**), se décompose en trois étapes :

- **L'appréciation du risque ou évaluation du risque** : il s'agit de l'identification du danger, l'estimation de la probabilité de sa survenue et l'importance des effets néfastes.
- **La gestion du risque** : il s'agit d'identifier les différentes mesures de diminution du risque préalablement apprécié et de quantifier, en incluant les incertitudes afférentes, la réduction de risque selon chaque scénario afin de déterminer des solutions jugées acceptables. Ces mesures peuvent prendre plusieurs formes : introduction de teneurs maximales en contaminant sur certains aliments, retrait du marché de certaines denrées, recommandations nutritionnelles... Dans ce cadre, les impacts économiques de telles mesures sont étudiés et mis en balance avec les réductions de risque attendues.
- **La communication sur le risque**: elle peut s'appliquer à tout moment de l'analyse de risque entre les responsables de l'estimation du risque, les responsables de la gestion du risque et les autres parties intéressées (milieux professionnels, consommateurs). Ce processus peut être appliqué à divers types de risques ou de bénéfices.

Le but d'une analyse de risque alimentaire est de déterminer si une substance donnée peut poser un problème de santé publique, de caractériser les individus les plus à risque et les moyens de réduction du risque les plus efficaces afin de mettre éventuellement en œuvre certaines mesures de sécurité sanitaire (**FAO/WHO, 1995**). En effet, les aliments peuvent contenir diverses substances (contaminants chimiques, additifs, pesticides, bactéries pathogènes) qui, lorsqu'elles sont ingérées en quantités relatives ou de manière répétée, peuvent avoir des effets néfastes sur la santé. De nombreux modèles ont déjà été développés dans le cadre de la microbiologie prévisionnelle (modèles de croissance bactérienne, **McMeekin et al., (1993)**; modélisation dose-réponse, **Daudin et Duby, (2002)**; des modèles économétriques (**Deaton et Muellbauer, 1980**). Les modèles d'épidémiologie (**Clayton et Hills, 1993**) tentent de mettre en évidence le lien entre une forte exposition et le développement d'une maladie ou d'un effet spécifique.

II.2.2.1.4.1. Analyse des risques selon le Codex Alimentarius

La Commission du Codex Alimentarius appelée couramment le Codex Alimentarius ou même le Codex, fut créée en 1963 par la FAO et l’OMS. C’est le modèle le plus largement utilisé en hygiène alimentaire. Le codex a pour mission de mettre au point des normes mondiales (ou régionales) sur les denrées alimentaires, avec pour objectifs de protéger la santé et d’assurer des pratiques loyales dans le commerce des denrées alimentaires (Crepet, 2007). Le principe de l’analyse des risques tel que défini par le Codex Alimentarius se divise en trois parties qui sont l’évaluation des risques (processus scientifique), la gestion des risques (processus décisionnel ou prérogative politique) et la communication sur les risques (processus d’information et de sensibilisation) (Nicolas, 2009). La figure 21 présente le modèle d’interaction entre les trois processus de l’analyse des risques.

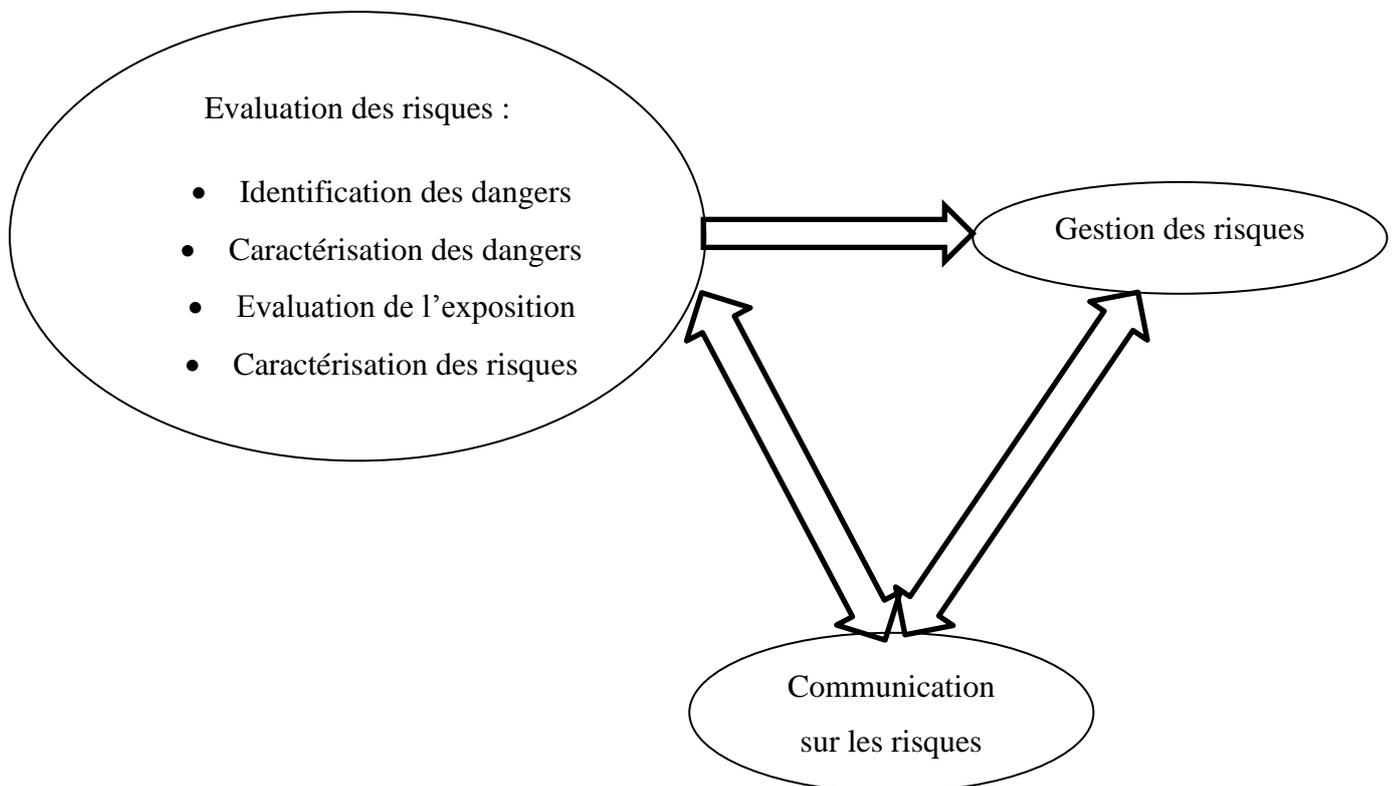


Figure 21 : Composantes de l’analyse de risque selon le Codex Alimentarius
(Codex Alimentarius, 2003)

II.2.2.2. Processus d'évaluation du risque

L'évaluation des risques est un processus scientifique basé sur les résultats de l'étude de prévalence (dénombrement) d'un microorganisme ou d'un composé chimique dans un aliment donné consommé en l'état avec un échantillonnage représentatif (**Lebres, 2006**). Elle est composée d'une identification des dangers, d'une caractérisation des dangers, d'une évaluation de l'exposition au risque et d'une caractérisation du risque (**AFSCA, 2005**).

II.2.2.2.1. Identification des dangers

On indique sur la base qualitative, quels dangers peuvent être associés à la consommation d'une denrée alimentaire spécifique et quels effets néfastes ils peuvent causer pour les consommateurs. Pour ce faire, on fait largement appel à la littérature existante (**AFSCA, 2005**). Il s'agit de déterminer la nature des contaminants des aliments (**Crepet, 2007**). Pour la réalisation de cette étape, l'évaluateur de risques sanitaires se base sur des études facilitant l'établissement d'une relation causale entre l'apparition d'un ou de plusieurs effets indésirables sur un organisme vivant après son exposition à une substance chimique, selon le scénario (voie, intensité, durée) considéré dans le cadre de l'évaluation. **Bonvallot et Dor (2002)** considèrent qu'une substance dangereuse peut atteindre différents organes pour une même voie et une même intensité d'exposition.

II.2.2.2.2. Caractérisation des dangers ou évaluation du rapport dose-effet

Cette étape consiste en l'évaluation qualitative et quantitative de la nature des effets néfastes pour la santé associés au danger. Lorsque les données sont disponibles, la relation dose-effet doit être établie (**Sanaa et Cerf, 2002**). On détermine la relation dose-réponse en rassemblant pour un danger donné, des informations qualitatives et quantitatives sur les effets négatifs sur la santé d'une exposition à différentes doses (**AFSCA, 2005**). Les données prises en compte sont celles des études expérimentales sur des volontaires, études expérimentales sur des animaux modèles, études épidémiologiques, menées à l'occasion d'épidémies ou non (**Bonnard, 2001**). Les réponses d'une population humaine aux expositions à un pathogène d'origine alimentaire sont très variables, ce qui indique que l'incidence de la maladie est fonction de plusieurs facteurs, parmi lesquels :

- les caractéristiques de virulence du pathogène;
- le nombre de cellules ingérées;
- l'état de santé général;
- l'état immunitaire de l'hôte;
- les attributs de la matrice alimentaire qui modifient l'état du danger ou de l'hôte;
- l'effet de l'exposition préalable au danger d'origine alimentaire sur la réponse immunitaire de l'hôte (**Lebres, 2006**).

II.2.2.2.3. Evaluation de l'exposition

Pour évaluer l'exposition, on fait une estimation du niveau de danger auquel le consommateur est exposé au moment de la consommation (**AFSCA, 2005**). L'élaboration de l'approche de l'évaluation de l'exposition est basée sur deux processus distincts. Le premier, purement scientifique, est relatif à la prévalence du danger dans l'aliment. Le second est basé sur la collecte d'informations relatives aux principaux paramètres qui sont :

- Le mode de consommation de l'aliment considéré, la durée de stockage de l'aliment;
- l'estimation de la fréquence et des portions d'aliment ingérées en fonction des populations susceptibles et non susceptibles;
- le sexe des consommateurs;
- l'âge des consommateurs;
- la contamination après transformation de l'aliment considéré (**Lebres, 2006**).

L'évaluation de l'exposition correspond à l'évaluation quantitative de la dose probable ingérée de contaminants alimentaires, c'est-à-dire qu'elle correspond à la concentration de l'agent dans l'aliment multipliée par la quantité d'aliment consommée pendant un repas, une journée (exposition aiguë) ou sur la vie (exposition chronique) (**WHO, 2009; Crépet et Tressou, 2011; Nougadere et al., 2011**). L'exposition peut se mesurer directement à l'aide de biomarqueurs, comme par exemple en mesurant chez l'homme les concentrations des composés recherchés ou de leurs métabolites (**Sirot et al., 2009; Egeghy et al., 2011**) dans les fluides corporels (sang, urine, lait maternel). À défaut d'être directement déterminée à l'aide de biomarqueurs, celle-ci est évaluée de façon indirecte à partir d'enquêtes de consommations alimentaires individuelles et de données sur la présence et les niveaux des résidus dans les aliments (**Graillet, 2012**).

II.2.2.2.4. Caractérisation des risques

La probabilité de contracter une maladie d'origine alimentaire dépend de l'évaluation de l'exposition au danger et de la relation dose-réponse (**Lebres, 2006**). Les informations collectées au cours des étapes précédentes sont regroupées et les maladies ou troubles sont classés selon leur gravité et leurs conséquences économiques et sociales. Ce classement doit ensuite permettre de prendre une décision concernant l'acceptation ou la non acceptation du risque donné.

La caractérisation des risques doit également englober tous les facteurs qui peuvent avoir un effet sur le risque, et indiquer le degré de fiabilité de l'estimation du risque. Il faut toutefois faire remarquer que la probabilité avec laquelle un danger donné se présente ne peut jamais être réduite à zéro (**Traoré, 2013**). Il faudra donc toujours accepter un certain niveau de risque, et cette acceptation dépendra fortement de l'effet induit sur la santé de l'homme, de la perception des risques, des aspects culturels, des aspects sociaux et des problèmes économiques qui y sont liés, ainsi que de la législation en vigueur (**AFSCA, 2005**). La **figure 22** indique le schéma général de l'évaluation du risque sanitaire selon le modèle de la **National Academy Sciences (1983)**.

DONNEES

EVALUATION DU RISQUE

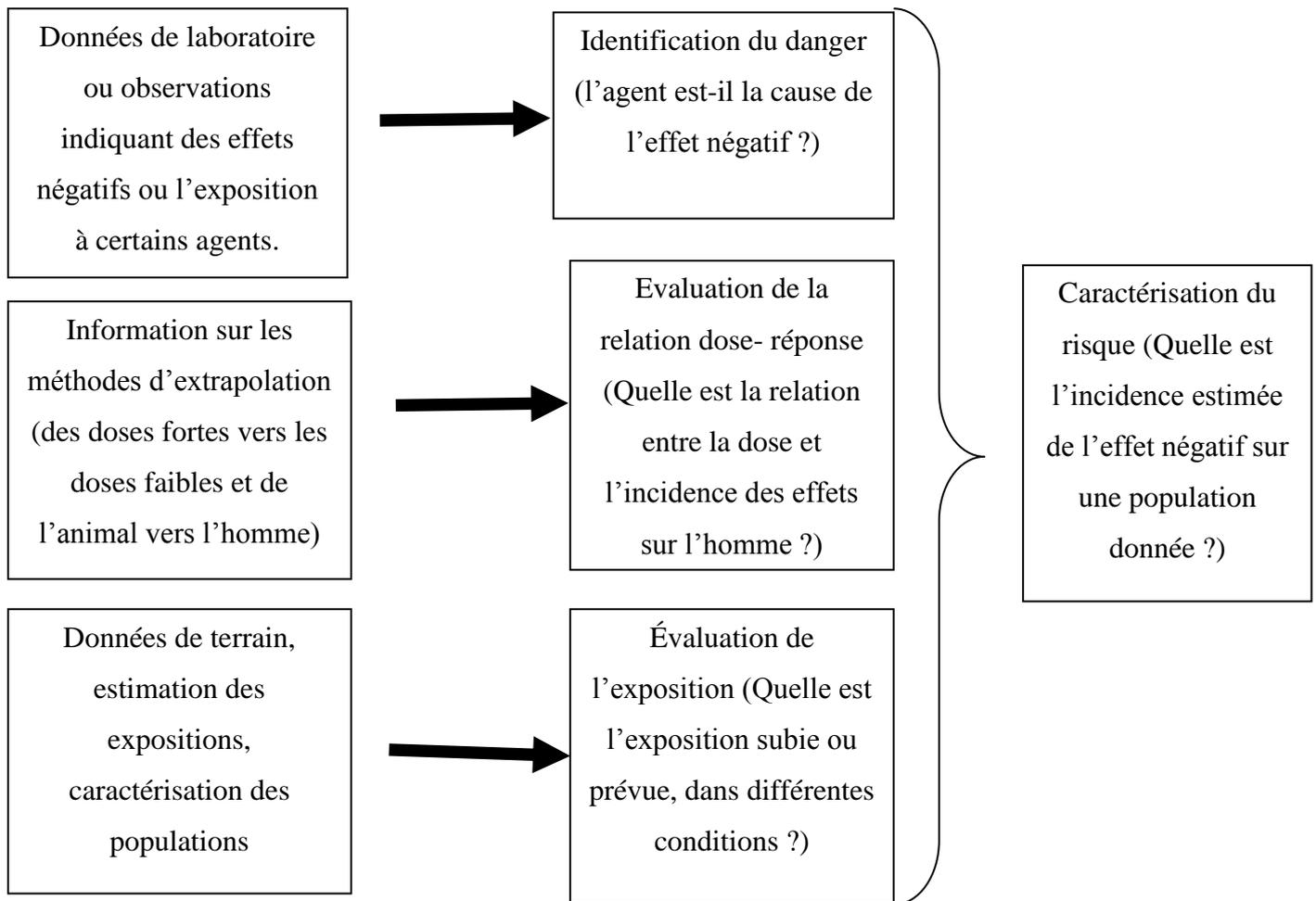


Figure 22: Schéma général de l'évaluation du risque sanitaire
(National Academy of Sciences, 1983)

II.2.2.3. Réalisation de l'évaluation des risques

La réalisation d'une analyse des risques commence par la construction d'un arbre d'événements qui est un modèle schématique (**Vose, 2008**), représentant autant que possible la réalité. Ce modèle schématique permet de déterminer les informations à collecter aux différents processus et l'analyse des risques peut être modélisée soit de manière déterministe, où l'on utilise une valeur moyenne estimée pour chaque paramètre, soit de manière probabiliste, où l'on tient compte de la distribution de probabilité de chaque paramètre (**Toma, 2002**).

La méthode déterministe est plus simple et rapide mais elle donne un résultat uniquement ponctuel. Quant à la méthode probabiliste, elle nécessite des distributions de probabilités pour représenter soit la variabilité, soit l'incertitude sur un paramètre et chaque variable entrant dans le modèle probabiliste sera remplacée par une loi de distribution selon la nature de la variable et du processus stochastique sous-jacent (**Pouillot et al., 2002**).

La méthode probabiliste est souvent utilisée pour la caractérisation de certains processus aléatoires parce qu'elle aboutit à une distribution de probabilité du risque et permet d'affiner l'interprétation des résultats issus du modèle. Le modèle global est constitué d'une succession de modèles partiels où les variables de sortie à une étape servent de variables d'entrée pour les étapes suivantes (**Nauta, 2001**), ce qui fait qu'à chaque étape, on obtient une représentation déterministe ou probabiliste des paramètres de sortie (**Pouillot et al., 2002**).

Les différents modules qui constituent les étapes du modèle et qui établissent les relations entre variables d'entrée et de sortie, peuvent être construits à partir des données récoltées sur le terrain ou prises dans la littérature scientifique. Lorsque le modèle est construit, il est possible d'obtenir des distributions de probabilité des variables en utilisant les simulations de type Monte Carlo (**Thusfield, 2007**). Avec cette méthode, chaque variable est considérée comme échantillonnée dans sa distribution de probabilité et pour produire un grand nombre de scénario ou d'itérations, on réalise un échantillonnage aléatoire de chaque distribution de probabilité dans le modèle. Les distributions des variables du modèle dépendent généralement des valeurs échantillonnées pour d'autres variables en amont dans le modèle et le modèle génère ainsi une distribution finale suite à la succession des variables des différents modules traduisant le risque et intégrant toutes les sources de variation et d'incertitude rencontrées dans le processus (**Pedro et Boris, 2005**). Après la construction du modèle global, l'exploitation des résultats peut être aussi réalisée par une analyse de sensibilité qui permet d'identifier les variables qui ont le plus d'influence sur un

paramètre d'intérêt (**Zwietering et Gerwen, 2000**). L'analyse de sensibilité peut être symbolisée sous la forme d'un graphique type tornade où la longueur des barres représente l'influence de la variable sur la variable d'intérêt (**Vose, 2008**).

III. DIVERSITÉ ALIMENTAIRE

L'étude de diversité alimentaire est réalisée à partir d'un questionnaire constitué de 16 groupes d'aliments. Les 16 groupes d'aliments sont repartis comme suis : Céréales, racines et tubercules blancs, légumes et tubercules riches en vitamine A, légumes feuilles vert foncé, autres légumes, fruits riches en vitamine A, autres fruits, abats, viande (muscle), œufs, poissons et fruits de mer, légumineuses-noix et graines, lait et produits laitiers, huiles et graisses, sucreries, épices-condiments-boissons. Ce questionnaire est utilisé pour recueillir des informations sur le Score de Diversité Alimentaire des Ménages (SDAM) ou celui des Individus (SDAI). La méthode de FANTA développée en 2006 par **Swindale et Bilinsky (2006)** intitulée « Score de Diversité alimentaire des Ménages (SDAM) a été réadaptée pour faciliter la collecte des informations. Il convient d'utiliser les noms locaux des produits et des denrées alimentaires couramment consommés dans la zone étudiée dans l'établissement du questionnaire (**WHO, 2011**).

Le SDAM et le SDAI ne sont pas calculés à partir du même nombre de groupes d'aliments, car leurs finalités sont différentes. Le SDAM est conçu pour donner une indication de l'accès économique des ménages à l'alimentation. Il comprend donc des aliments qui nécessitent des dépenses de la part des ménages, comme les condiments, le sucre et les aliments sucrés, ou encore les boissons. Les scores individuels sont censés refléter la qualité nutritionnelle du régime alimentaire. Le SDAI rend compte de la probabilité d'adéquation en micronutriments du régime alimentaire et les groupes d'aliments consommés (**Kennedy et al., 2013**).

Le SDAI contribuent pour une large part à décrire la valeur énergétique du régime, les apports en vitamines liposolubles et des caroténoïdes présents dans les aliments consommés.

Les résultats obtenus à partir du questionnaire sur la diversité alimentaire peuvent être interprétés de différentes manières. Ils peuvent servir à calculer un score de diversité alimentaire en comptant les différents groupes d'aliments consommés. Il est aussi possible d'analyser les scores de différentes sous-populations (urbaines et rurales, par exemple) pour fournir davantage d'informations sur les régimes alimentaires des groupes présentant des caractéristiques démographiques ou économiques données (**Kennedy et al., 2013**).

De même, les individus étudiés peuvent être stratifiés suivant un indicateur de vulnérabilité, tel que les catégories d'un indice de richesse, en vue de comparer les scores de chaque groupe. Outre l'exploitation des scores, il est également utile de s'intéresser à certains groupes d'aliments. On peut, par exemple, calculer la proportion de ménages ou de personnes qui consomment des fruits et des légumes riches en vitamine A. Les informations collectées sur la

consommation de différents groupes d'aliments peuvent en outre être utilisées pour évaluer les habitudes alimentaires.

Il n'y a pas de limites établies pour le SDAM ou le SDAI, indiquant le nombre de groupes d'aliments à partir duquel la diversité alimentaire est considérée comme adéquate ou inadéquate. Pour cette raison, il est recommandé d'utiliser le score moyen ou la distribution des scores pour effectuer les analyses.

Par exemple, on peut diviser la population en quantiles suivant un indicateur jugé intéressant, comme la richesse. Il est également recommandé d'utiliser le score de diversité alimentaire moyen afin de subdiviser la population étudiée en tertile ou quintile, afin de mettre en évidence les différents profils d'alimentation dans ces sous-groupes de population (**Kennedy et al., 2013**). Dans le cas de notre travail, la population investiguée a été subdivisée en tertile suivant le SDAI moyen du groupe.



**MATERIEL ET
METHODES**

I. MATERIEL

I.1. Matériel biologique

- **Matériel végétal**

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué d'huiles de palme brute (produites de façon artisanale) et raffinée (produites par les industries de raffinage en Côte d'Ivoire) (**Figure 23**). Les huiles ont été collectées dans le commerce de sept (7) chefs-lieux de district et de région de la Côte d'Ivoire (Abidjan, Abengourou, Dabou, Daloa, Korhogo, Man et Yamoussoukro). Ceux-ci représentent des zones de production et de distribution de l'huile de palme rouge. Ces échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée ont été prélevés durant la période des enquêtes alimentaires allant de novembre 2016 à février 2017.

- **Matériel animal**

Le matériel animal était constitué de rats de souche Wistar, de l'espèce *Rattus norvegicus* au nombre de 39 (**Figure 24**). Ils étaient composés de mâles et femelles âgés de 90 jours, avec un poids moyen de $134 \pm 2,67$ g. Ces animaux ont été suivis durant la période d'août à novembre 2018 à l'animalerie de l'Unité de Gestion des Ressources Animales (UGRA) de l'Institut Pasteur d'Adiopodoumé (Abidjan). Les rats ont été maintenus dans les conditions favorables d'élevage et d'éthique telles que définies par les instances internationales tenant compte du bien-être des animaux de laboratoire.



a



b

Figure 23 : Echantillons d'huiles de palme rouge et raffinée
(**a** : huile de palme rouge, **b** : huile de palme raffinée)



Figure 24 : Rat albinos de souche wistar

I.2. Population étudiée

La population étudiée était constituée d'individus ayant au moins 18 ans. Il s'agissait de femmes productrices et vendeuses d'huile de palme rouge, de commerçants d'huile de palme raffinée et des consommateurs.

I.3. Produits chimiques

Tous les produits chimiques utilisés dans cette étude sont de qualité analytique. L'ascorbate de sodium, la phénolphthaléine et l'amidon proviennent du fournisseur Merk, (Allemagne).

L'acide acétique glacial, l'hydroxyde de potassium, le méthanol, le tertio butyl methylester et le triméthyl hydroxyde de sulfonium ont été fournis par prolabo (France).

Quant aux réactifs de Wijs, l'iodure de potassium et le thiosulfate de sodium utilisés proviennent respectivement des fournisseurs pancréac (Allemagne), Scharlau (Espagne) et Chem-Lab (Belgique).

L'éthanol, et les étalons (acétate de rétinol, l' α -tocophérol) étaient de Sigma-aldrich (Allemagne).

Les solvants hexane, chloroforme, éther de pétrole sont de Carlo Erba (France), de chem-Lab (Belgique).

Les kits enzymatiques ont été fournis par Gimed (Côte d'Ivoire).

II. METHODES

II.1. Enquête alimentaire

II.1.1. Sites d'étude

Les enquêtes se sont déroulées de Novembre 2016 à Février 2017 dans deux districts autonomes (Abidjan, Yamoussoukro) et cinq chefs-lieux de régions de la Côte d'Ivoire que sont : Abengourou, Dabou, Daloa, Korhogo et Man (**Figure 25**). Le choix de ces villes a été fait sur la base de la densité de production et de distribution des huiles de palme rouge. Des investigations ont été menées dans ces villes dans le but de décrire la diversité alimentaire individuelle, la fréquence de consommation et la quantité d'huiles de palme rouge et raffinées consommée par la population.

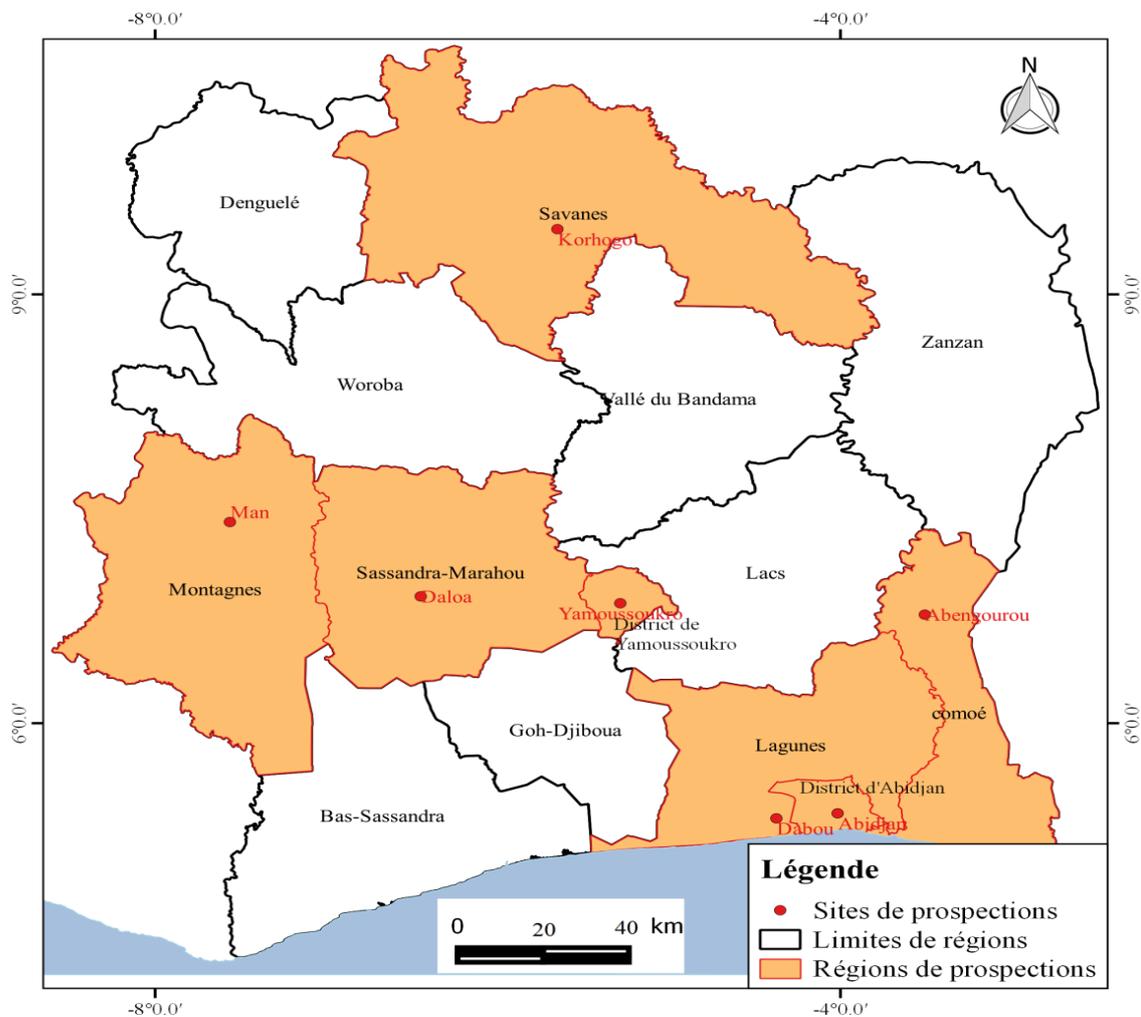


Figure 25 : Situation géographique du cadre d'étude
(présente étude)

II.1.2. Plan de sondage de l'enquête

II.1.2.1. Détermination de l'effectif

L'enquête a concerné les hommes et les femmes majeurs dont les tranches d'âge ont été regroupées comme suit : 18-28 ans, 29-39 ans, 40-50 ans et ceux ayant plus de 50 ans. Le nombre de personnes qui ont participé à l'enquête alimentaire a été déterminé selon la méthode de **Giezendanner (2012)**. En effet, un échantillon de 417 personnes a été enquêté et repartie proportionnellement à la population de chaque ville (échantillonnage par quota). Soit 260 personnes à Abidjan, 35 personnes à Daloa et à Korhogo, 23 personnes à Man et à Yamoussoukro, 21 personnes à Abengourou et 20 personnes à Dabou.

$$N = t^2 \times (P(1 - P))/e^2 \quad (\text{Eq 1})$$

Avec :

N : la taille de l'échantillon,

e : la marge d'erreur

t : le coefficient de marge déduit du taux de confiance

P : la proportion des éléments de la population-mère qui présente une propriété donnée.

Ainsi, la valeur conventionnelle de chaque élément de cette fraction se présente comme suit:

$$t = 1,96; p = 0,5 \text{ et } e = 0,05$$

II.1.2.2. Procédure d'enquête

L'enquête a été faite de façon aléatoire en s'appuyant sur un questionnaire (**Annexe 1**). Il s'agit de recueillir auprès des populations des localités étudiées des informations concernant le rappel qualitatif et quantitatif des dernières 24 heures, le type d'huile le plus consommé, le temps de conservation des huiles dans les ménages. Également, des informations sur la fréquence de consommation et de la quantité d'huiles de palme rouge et raffinée consommée, le lieu d'approvisionnement et la durée de commercialisation de ces huiles ont été collectées. L'enquête était de type direct et les questions posées étaient du type fermé (répondre par oui ou non) et ouvert (donner la possibilité au répondant d'exprimer son point de vue).

II.1.3. Pré-enquête

La pré-enquête revêt un caractère généralisé en vue d'avoir des informations sur les quantités des aliments de bases locaux et des huiles de palme rouge et raffinées consommés par personne et par repas. Elle a eu lieu, dans les restaurants, les lieux de vente d'attiéké-poisson, de placali (pate de manioc) et de kabatho (pate de maïs) et dans les ménages. Elle a consisté dans un premier temps, à déterminer la quantité d'huile de palme rouge ou raffinée et à peser le plat par repas de riz, de foutou (pate de banane plantain ou d'igname), d'attiéké, de placali, de kabatho et d'igname bouillie consommé par le client. Secondairement, la quantité d'huile de palme rouge ou raffinée et la quantité du plat d'aliment de base (attiéké, placali, foutou, bouillie d'igname, riz, kabatho) par repas de chaque individu des ménages investigués a été déterminée. La quantité moyenne de chaque aliment de base consommé a été calculées à partir des valeurs individuelles obtenues et ces quantités moyennes étaient de 225 g, 450 g, 675 g et de 900 g. Également, les volumes des différents instruments utilisés pour mesurer la quantité d'huile de palme rouge ou raffinée utilisé généralement dans la confection des mets des consommateurs ont été définis et ces volumes sont : 11 mL, 20 mL, 36 mL, 40 mL, 60 mL, 67 mL, et 80 mL.

II.1.4. Questionnaire de fréquence

La détermination de la fréquence de consommation des aliments a été effectuée selon la méthode de **Cade et al. (2002)**. Cette enquête consistait à utiliser un questionnaire de fréquence constitué d'une liste d'aliments à laquelle sont associées des catégories de fréquence de consommation (en nombre de fois par jour, par semaine, par mois, etc.). Ainsi, Il est demandé au répondant, de cocher ou de faire cocher, pour chaque aliment de la liste, la fréquence qui s'approche le plus de sa consommation habituelle. Dans le cadre de ce travail, le questionnaire a concerné les céréales, les racines, les tubercules et les autres fruits (banane plantain) et les huiles de palme (**Annexe 1D**).

II.1.5. Rappel des 24 heures

- Rappel qualitatif

Le rappel des 24 heures a été réalisé selon les méthodes de **Fox et al. (1992)** et de **Tran et al. (2000)**. Il s'agissait d'effectuer un entretien au cours duquel la personne interrogée se rappelle et décrit tous les aliments et boissons consommés pendant les 24 heures précédentes. La technique de **Johnson et al. (1996)** c'est-à-dire le rappel à passages multiples a été également utilisée afin d'éviter l'omission de certains points source d'erreurs ou d'oublis. Ces passages

multiples consistaient à demander au répondant de se souvenir des aliments et boissons consommés la veille de l'entretien. Puis, d'interroger le répondant sur les consommations de sucreries, snacks, boissons alcoolisées ou non. Aussi, s'agissait-il de demander au répondant les horaires du petit déjeuner, des collations, du déjeuner, du goûter, des grignotages et du dîner. Enfin, un passage en revue de l'ensemble des réponses a été réalisé.

Au fur et à mesure que la personne interrogée indiquait les aliments et les boissons consommés, ceux-ci étaient soulignés dans la liste où figure chaque groupe d'aliments. Un coefficient « 1 » était affecté à la colonne en regard de chaque groupe d'aliment dont au moins un des éléments a été souligné ou inscrire « 0 » dans cette colonne lorsqu'il est avéré qu'aucun aliment de ce groupe n'a été consommé. Selon la FAO, 16 groupes d'aliments sont pris en compte (**Annexe 1 C**) (**Kennedy et al., 2013**).

- **Calcul du Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI)**

Le calcul du SDAI a été fait selon la méthode de **Kennedy et al. (2013)**. Il s'agissait d'effectuer une réorganisation des 16 groupes d'aliments utilisés pour les enquêtes en neuf (9) (féculents, légumes feuilles vert foncé, fruits et autres légumes riches en vitamine A, autres fruits et légumes, abats, viande et poisson, œufs, légumineuses-noix et graines, lait et produits laitiers). Les 16 groupes d'aliments sont : Céréales, racines et tubercules blancs, légumes et tubercules riches en vitamine A, légumes feuilles vert foncé, autres légumes, fruits riches en vitamine A, autres fruits, abats, viande (muscle), œufs, poissons et fruits de mer, légumineuses-noix et graines, lait et produits laitiers, huiles et graisses, sucreries, épices-condiments-boissons.

Les calculs sont réalisés en tenant compte uniquement des neuf (9) groupes d'aliments obtenus. Ainsi, la somme de tous les coefficients « 1 » inscrits dans les colonnes en regard de chaque groupe d'aliment (groupe d'aliment dans lequel au moins un aliment a été consommé la veille) a été effectuée. Cette addition est effectuée pour chaque individu enquêté et correspondait au score de diversité alimentaire de chaque individu. Le score de diversité alimentaire de chaque individu est compris entre 0 et 9 et non entre 0 et 16 qui correspond au nombre de groupes d'aliments utilisés pour le questionnaire.

- **Rappel quantitatif**

Le rappel quantitatif des dernières 24 heures a été réalisé selon les méthodes de **Lawn et Harvey, (2003)** et de (**Cyupers et al., 2015**). Ce rappel a consisté à estimer les quantités d'aliment consommées par personne et par repas. Cette méthode a été employée pour évaluer

les apports énergétiques et nutritionnels. Il a été réalisé par un entretien pendant lequel les personnes enquêtées se remémoraient et décrivaient les quantités d'aliments et boissons consommées pendant les 24 heures précédentes l'enquête. Dans le cadre de ce travail, les informations sur l'appréciation quantitative ont été obtenues à l'aide de photographies de quantités d'aliments de bases locaux et d'huiles de palme rouge et raffinée acquises au cours d'une pré-enquête. Celle-ci a permis de recueillir des quantités moyennes d'aliments de base et d'huiles de palme consommées par les individus dans les ménages et les restaurants. Ces quantités variaient entre 11 et 80 mL pour les huiles de palme et de 225 à 900 g pour les aliments de base (**Annexe 1 C et 1 E; Photographies en annexe 2 et 3**). Sur la base des quantités moyennes d'aliments consommées par individu et par repas obtenus à partir de la pré-enquête, les aliments de base (riz, maïs, igname, manioc, patate douce, banane plantain) ont été cuits à l'eau puis pesés à différentes masses (225 g, 675 g, 900 g). Ainsi, les informations obtenues par pesée ont été mises sur support photographique dans le but de les présenter aux répondants afin qu'ils choisissent les quantités d'aliments de base et d'huiles de palme rouge et raffinée consommées par repas.

II.1.6. Questionnaire sur le lieu d'approvisionnement, la durée de conservation et de vente des huiles de palme rouge et raffinée

Un questionnaire permettant d'obtenir des informations sur :

- Les zones de production et d'approvisionnement en huile de palme rouge pour la commercialisation,
- Le lieu et la durée de commercialisation des huiles de palme rouge et raffinée par les commerçants et commerçantes,
- La durée de conservation des huiles de palme rouge et raffinée par les consommateurs,

a été administré aux populations investiguées.

II.2.Echantillonnage des huiles

Les échantillons d'huiles de palme rouge ont été obtenus auprès des productrices et des revendeuses. Quant à l'huile palme raffinée, les prélèvements ont été réalisés dans des surfaces de commercialisation. Une méthode d'échantillonnage non probabiliste nommée «boule de neige» a été utilisée pour la collecte des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée dans les sept villes sélectionnées dans l'étude (**N'Deye, 2001**). Dans chaque ville, les échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée ont été recueillis dans les contenants utilisés habituellement pour la commercialisation puis transvasés dans des bouteilles (en verre) de 500 à 1500 mL. Au cours de l'échantillonnage, les huiles de palme rouge et raffinée collectées étaient les plus récentes acquisition des productrices et des commerçants. Ces échantillons ont été emballés dans des feuilles en aluminium puis conservés dans une glacière à l'abri de la lumière à une température de 25 à 30°C. Les prélèvements ont été ensuite acheminés au laboratoire et conservés à la température ambiante (25 à 30°C) jusqu'à leur analyse (**Johnston et Sabin, 2010**). Au total, 157 échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée ont été collectés en raison de 71 échantillons d'huiles de palme rouge et 86 échantillons de deux types d'huiles de palme raffinée produites en Côte d'Ivoire que nous avons nommées R1 et R2. Par ailleurs, trois (3) échantillons d'huiles de tournesol ont été recueillis pour être utilisées comme témoins dans les analyses de l'évaluation des bénéfices nutritionnels.

II.3. Analyses biochimiques des échantillons de l'huile de palme

II.3.1. Détermination du potentiel hydrogène (pH)

Le pH des huiles a été déterminé selon la méthode décrite par **Audigie et al. (1984)**. Il donne une indication sur l'acidité ou l'alcalinité du milieu, il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogènes libres (H) contenue dans l'huile.

Le pH a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre digital (HANNA HI 8424 pH-meter, Portugal). Après étalonnage du pH-mètre par les solutions tampon de pH 4 et 7, la sonde du pH-mètre a été plongée dans un bécher contenant 100 mL d'huile et la lecture a été effectuée.

II.3.2. Indice d'acide

L'indice d'acide d'une matière grasse est la quantité en mg d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides gras libres (AGL) contenus dans 1 g de matière grasse. Il mesure la quantité d'AGL présents dans un corps gras. Il a été déterminé selon la norme **AFNOR NF T 60-204 (1984)**.

Il a consisté à dissoudre de la matière grasse dans de l'éthanol, et titrer des AGL présents au moyen d'une solution titrée d'hydroxyde de potassium (KOH) en présence de phénolphtaléine comme indicateur.

Une quantité d'un (1) g de matière grasse a été pesée et introduite dans une fiole conique. Un volume de 50 mL d'éthanol et de 2 gouttes d'indicateur coloré y ont été ajoutés. Cet ensemble a été titré avec de l'hydroxyde de potassium 1N en agitant énergiquement jusqu'à coloration rose persistant 30 secondes. Le résultat s'exprime comme suit :

$$I_a = (V * 56,1 * N) / m \quad (\text{Eq 2})$$

Avec :

V : volume de KOH en mL

N : normalité de la solution de KOH

m : masse de la prise d'essai en g

56,1 g : masse moléculaire de KOH.

L'indice d'acide s'exprime en mg de KOH/g d'huile.

II.3.3. Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde (I_p) exprime le degré d'oxydation de l'huile. C'est le nombre de microgramme actif du peroxyde contenu dans 1 g de matière grasse qui oxyde l'iodure de potassium avec libération d'iode dans les conditions de l'expérience. Il a été déterminé selon la méthode décrite par **AFNOR NF T 60-220 (1984)** et a été exprimé en milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme d'huile (meqO_2/Kg).

L'indice de peroxyde consiste à traiter l'huile, en solution dans un mélange d'acide acétique / chloroforme, par une solution d'iodure de potassium, suivie du titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium.

Une quantité de 2 g d'échantillon d'huile a été pesée dans un erlenmeyer de 250 mL et dissous dans 10 mL de chloroforme auquel on a ajouté 15 mL d'acide acétique puis 1 mL de solution d'iodure de potassium saturée. L'erlenmeyer a été bouché et agité pendant 1 mn puis laissé à l'abri de la lumière pendant 5 min. On y a rajouté 75 mL d'eau distillée. Le tout a été vigoureusement agité en présence d'indicateur d'iode (empois d'amidon), et l'iode libéré a été titré avec une solution de thiosulfate de sodium 0,01 N. L'indice de peroxyde est exprimé suivant la relation :

$$IP (\text{meq } O_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ d'huile}) = 10 \times (V - V_0) / m \quad (\text{Eq 3})$$

Avec :

m : masse de la prise d'essai en gramme

V : volume de solution de thiosulfate de sodium versé exprimé en mL

V_0 : volume de solution de thiosulfate de sodium pour l'essai à blanc en mL.

II.3.4. Indice d'iode

L'indice d'iode (I_i) est le nombre de grammes d'iode fixé par 100 g d'huile. La méthode utilisée pour sa détermination est celle de la norme **ISO 3961 (1996)**. Il s'agit de faire réagir le réactif de Wijs sur la matière grasse dissoute dans le chloroforme. Une solution d'iodure de potassium (KI) est ensuite ajoutée au mélange afin d'extraire l'iode dans la phase aqueuse qui est titré en retour par une solution de thiosulfate de sodium.

Une masse de 0,25 g d'huile a été dissoute avec 20 mL de chloroforme (CHCl_3) dans un erlenmeyer de 250 mL. Ensuite, 25 mL de réactif de Wijs y ont été ajoutés. L'erlenmeyer a été bouché, agité puis laissé à l'obscurité pendant 1 heure. Un essai à blanc a été préparé en remplaçant l'échantillon par de l'eau distillée. Puis, 20 mL d'iodure de potassium (KI) (1%) et 150 mL d'eau distillée y ont été respectivement ajoutés. Ensuite, l'iode libéré a été titré avec le

thiosulfate de sodium. Quand la solution est partiellement décolorée, 3 gouttes d'empois d'amidon (1%) sont ajoutées et la solution est titrée jusqu'à l'incolore. A l'équivalence, la solution vire du bleu à l'incolore. Le résultat est exprimé comme suit :

$$I_i = 127 * C * (V_0 - V) / 10 * m \quad (\text{Eq 4})$$

Avec :

V_0 : volume en mL de thiosulfate utilisé pour l'essai à blanc

V : volume en mL de thiosulfate utilisé pour la prise d'essai

C : concentration en mol/L de thiosulfate utilisé, m : masse en g de la prise d'essai

127: masse molaire en g/mol d' I_2 .

L'indice d'iode s'exprime en g d'Iode/100g corps gras.

II.3.5. Détermination quantitative des acides gras

La teneur en acide gras des différentes huiles a été déterminée selon la norme **NF EN ISO 5508 (1995)**. Cette composition a été caractérisée par analyse des esters méthyliques d'acide gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG) de type Varian (varian CPG, Sydney, Australie)

Il consiste à partager des analytes entre une phase stationnaire et une phase mobile gazeuse. Cette séparation des analytes repose sur la différence d'affinité de ces composés pour la phase mobile et pour la phase stationnaire. Le mélange à analyser est vaporisé puis transporté à travers une colonne (phase stationnaire). Le transport se fait à l'aide d'un gaz inerte qui constitue la phase mobile.

Une fraction de 20 mg de l'huile a été solubilisée dans 1 mL de TBME (tertio butyl methylEther), après agitation et filtration sur un filtre de 0,45 μm , 100 μL de la solution filtrée ont été mis dans un insert. Puis 50 μL de TMSH (triméthyl hydroxyde de sulfonium 0,5 M dans le méthanol) y ont été ajoutés pour les acides gras plus volatils. Ces derniers sont identifiés par comparaison de leurs chromatogrammes à ceux de témoins purs analysés dans les mêmes conditions. Le chromatographe (varian CPG, Sydney, Australie) utilisé était équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) avec les conditions opératoires inscrites dans le **tableau V**.

Tableau V : Conditions d'analyse des acides gras par CPG-FID

Paramètres	Valeurs
Type de colonne	colonne capillaire CP – select CB for FAME fused Silica WCOT (50 m x 0,25 mm x 0,25µm)
Gaz vecteur	Hélium (1mL/min)
Température de l'injecteur	250°C
Quantité injectée	1,0 µL
Programmation de la température du four	185°C (40 min) ; 15°C/min jusqu'à 250°C ; 250°C (10,68 min)
Température du détecteur FID	250°C
Injecteur mode split	1/100
Durée d'analyse	55 min

II.3.6. Détermination des teneurs en provitamine A et vitamine E des échantillons d'huiles

Les dosages de provitamine A et de vitamine E ont été réalisés selon la **directive 2000/45/CE de la commission du 06 Juillet 2000**. Les conditions étaient identiques pour les deux vitamines à la différence des longueurs d'ondes de détection. La séparation de la provitamine A et de la vitamine E a été réalisée par Chromatographie Liquide Ultra Performance (ACQUITY UPLC, Waters, USA). L'élution de la provitamine A et de la vitamine E a été effectuée à l'aide d'un mélange binaire méthanol-eau (99 % - 1 %). La détection U.V. a été réalisée à 325 nm pour la provitamine A et à 292 nm pour la vitamine E.

Les différents composants de l'échantillon sont séparés par la chaîne UPLC puis introduits dans la source du spectromètre de masse. Les composés sont ensuite ionisés positivement ou négativement selon le mode utilisé, avant d'être transférés vers l'analyseur. Celui-ci sépare les ions suivant leur rapport masse sur charge (m/z). La détermination de la provitamine A et de la vitamine E a été réalisée en trois (3) étapes à savoir : la saponification, l'extraction des vitamines et le dosage des vitamines.

- **Etape 1 : Saponification**

A 0,1 g près, 50 g d'échantillon ont été pesés et transvasés dans une fiole conique de 1 litre. Puis, 200 mL d'éthanol (95 %) y ont été ajoutés. Le contenu de la fiole a été agité afin de disperser l'échantillon. Ensuite, une quantité de 2 mL d'ascorbate de sodium (100 g/L) et 50 mL de solution d'hydroxyde de potassium (500 g/L) ont été ajoutés au mélange. Un réfrigérant à reflux a été adapté à la fiole et cette dernière a été immergée dans un bain-marie bouillant à 100°C pendant 60 min tout en homogénéisant régulièrement le contenu de la fiole. Puis, la fiole a été refroidie à température ambiante (25°C) aussi rapidement que possible sous un courant d'eau froide.

- **Etape 2 : Extraction des vitamines A et E**

Le contenu de la fiole a été transvasé dans une éprouvette d'extraction. La fiole a été rincée avec deux fractions de 25 mL d'éthanol (95 %) et les rinçages ont été transvasés dans l'éprouvette. De même, la fiole a été rincée avec deux fractions de 125 mL d'éther de pétrole (ayant un point d'ébullition compris entre 40 °C et 60°C) et une fraction de 250 mL d'eau distillée, en transvasant chaque fois les rinçages dans l'éprouvette.

L'éprouvette a été bouchée et bien agitée à la main pendant 1 min, tout en libérant la pression de temps en autre. L'éprouvette était gardée au repos tout en attendant la séparation des deux phases liquides avant de retirer le bouchon. Une fois les phases séparées, les parois de l'éprouvette sont lavées avec 25 mL d'éther de pétrole. Une légère pression de gaz inerte (azote) a été appliquée à la tubulure latérale et la phase supérieure d'éther de pétrole a été transvasée dans une ampoule à décanter. Une quantité de 125 mL d'éther de pétrole a été additionnée au contenant de l'éprouvette, puis bouchée et bien agitée pendant 1 min. Après décantation, la phase supérieure a été transvasée dans l'ampoule à décanter comme précédemment; cette action a été répétée à nouveau.

Les extraits combinés d'éther de pétrole ont été lavés avec quatre fractions de 100 mL d'eau distillée en renversant le dispositif tout d'abord doucement, puis en agitant lentement afin de minimiser la formation d'émulsion. L'extrait lavé a été transvasé à travers un papier à filtration moyenne/rapide dans une fiole appropriée à l'évaporation sous vide contenant 60 g de sulfate de sodium anhydre. L'ampoule à décanter a été rincée avec deux fractions de 20 mL d'éther de pétrole et les rinçages ont été transvasés dans la fiole d'évaporation à travers le filtre. Le filtre a été à nouveau lavé avec deux fractions de 25 mL d'éther de pétrole et les rinçages ont été recueillis dans la fiole d'évaporation. L'extrait étheré contenu dans la fiole a été évaporé à sec sous vide, à une température ne dépassant pas 40 °C.

- **Étape 3 : Dosage de la provitamine A et de la vitamine E**

Le résidu a été dissous dans 5 mL de méthanol et transvasé dans une fiole jaugée de 20 mL. La fiole d'évaporation a été rincée avec deux fractions de 5 mL de méthanol en transvasant chaque fois le liquide de rinçage dans la fiole jaugée. Le volume a été complété avec du méthanol. L'extrait a été filtré à travers une membrane de filtration (0,45 μ m).

Un volume de 0,8 μ L d'extrait d'échantillon a été injecté dans la colonne du chromatographe muni d'une pompe réglée pour fournir un débit constant de 1 mL/min et d'une colonne (ACQUITY UPLC R BEHC181.7 μ m). L'aire moyenne du pic a été calculée à partir de deux injections de l'extrait d'échantillon. La détermination de la concentration en rétinol et en tocophérol de l'extrait s'est faite en se reportant à l'aire moyenne du pic de deux injections d'étalon (acétate de rétinol et α -tocophérol) de concentration similaire. Les injections étaient alternées d'extrait d'échantillon et de solution étalon.

II.4. Variation des taux sériques des triglycérides, du cholestérol, des vitamines A et E chez les rats, suite à la consommation de l'huile de palme rouge

II.4.1. Suivi et expérimentation animale

Les rats utilisés pour cette expérience étaient âgés de 90 jours et ont été répartis en 13 lots de 3 rats. Les rats de chaque lot avaient des masses identiques et de même sexe pour éviter des cas de gestation. Ils ont été identifiés individuellement et placés dans les cages au moins une semaine avant le début de l'étude, pour leur permettre de s'acclimater aux conditions du laboratoire. Ces animaux ont été soumis à un cycle journalier de 12 heures de lumière suivies de 12 heures d'obscurité à une température moyenne de $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

Ils ont été nourris à satiété avec un aliment complet standard sous forme des granulés de la société FACI (Fabrication d'Aliments Composés Ivoiriens) et abreuvés d'eau de robinet à volonté servie dans des biberons ad libitum durant 90 jours. Avant le début de l'expérimentation, les animaux ont été mis à jeun toute la nuit (12 heures) mais pouvaient s'abreuver. Par la suite, chaque rat a reçu de l'huile de palme rouge par administration orale en une seule prise à raison d'un (1) mL pour 100 g de poids corporel (pc) selon la méthode de **Gomes et al. (2015)**. La durée de l'expérimentation était de 12 heures et a été réalisée selon le protocole suivant :

- 12 lots de rats ont reçu de l'huile de palme rouge (1 mL/100 g de pc) avec un intervalle de temps de 15 min d'un lot à l'autre.
- le lot témoin (3 rats) n'a pas reçu l'huile de palme rouge mais il a reçu de l'eau dans les mêmes conditions

L'ensemble des rats s'abreuvaient à volonté au cours de l'expérience.

II.4.2. Prélèvements sanguins et collecte des organes

Le prélèvement sanguin et la collecte des organes des rats ont été effectués par des techniciens spécialisés dans la salle de prélèvement du laboratoire de l'UGRA de l'Institut Pasteur d'Adiopodoumé. Ces animaux étaient anesthésiés avec de l'éther avant les prélèvements et le sang a été collecté selon la technique d'amputation de 5 mm du bout de la queue du rat après l'avoir désinfecté avec de l'alcool à 70°C décrite par **Kraus (1980)**.

Les animaux du lot témoin ont été sacrifiés dès le début de l'expérience (temps T_0) puisque ceux-ci n'avaient pas reçu de l'huile. Une heure après le gavage, les animaux d'un lot essai (lot essai 1) ont été sacrifiés. Ainsi, chaque heure, un lot de rats a été sacrifié jusqu'à la 12^{ème} heure de l'expérimentation. Le sang de chaque rat a été recueilli dans des tubes secs (tube à bouchon

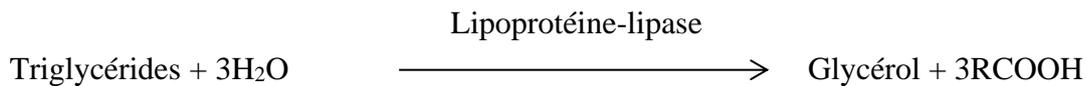
rouge) puis centrifugé dans une centrifugeuse (SIGMA, 4K10 Bioblok Scientific, Allemagne) à une vitesse de 3000 tours/minute pendant 15 minutes et le sérum a été récolté. Par ailleurs, le foie et le cœur de chaque rat ont été également prélevés et broyés séparément dans un mortier en porcelaine. Les sérums et les broyats obtenus ont été séparés en plusieurs aliquotes dans des cryotubes marqués puis conservés à -20°C avant les analyses.

II.4.3. Dosage des différents paramètres biologiques

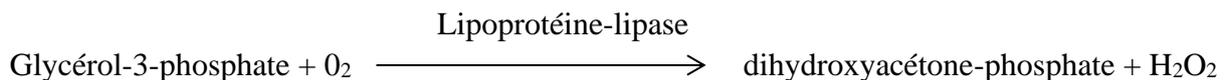
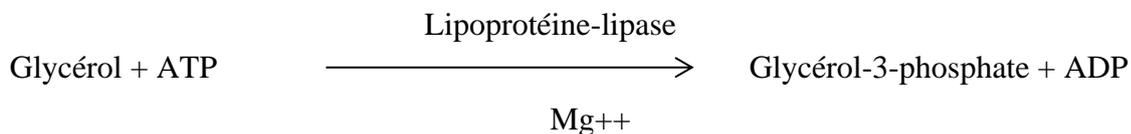
II.4.3.1. Dosage des Triglycérides

Le dosage des triglycérides a été réalisé selon la méthode de **Wahlefeld et Bergmeyer (1974)**. Le dosage a été effectué à l'aide du kit Cholestérol total-cobas Roche (référence : 04657594-190) (France).

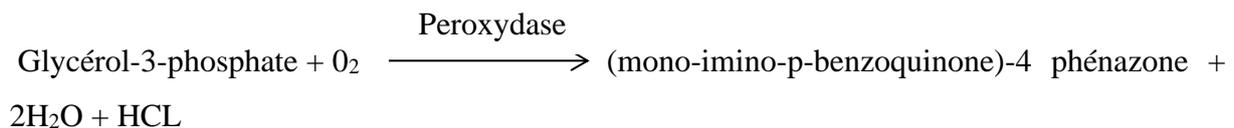
Cette méthode repose sur une hydrolyse rapide et complète des triglycérides en glycérol et acide gras libre due à une lipoprotéine-lipase (LPL) provenant des microorganismes (*Pseudomonas*, *Bacillus stearothermophilus*, *E. coli*).



Le glycérol formé est oxydé en dihydroxyacétone-phosphate avec formation d'eau oxygénée.



En présence de peroxydase, l'eau oxygénée formée réagit avec l' amino-4 phénazone et le chloro-4 phénol avec formation d'un dérivé coloré rouge.



L'intensité de la coloration rouge développée est proportionnelle à la concentration en triglycérides et est mesurée à 500 nm à l'aide d'un spectrophotomètre Automate (cobs c 111, Roche, France).

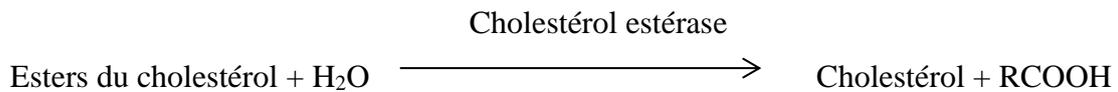
II.4.3.2. Dosage du cholestérol total

Le dosage du cholestérol total a été effectué par la méthode colorimétrique enzymatique sous l'action de la cholestérol-estérase selon la méthode décrite par **Allain et al. (1974)**.

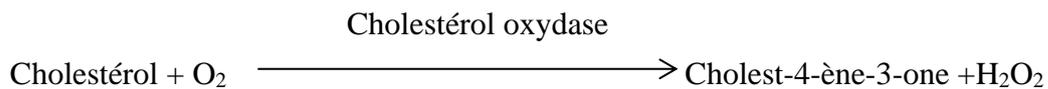
Le dosage a été réalisé à l'aide du kit Cholestérol total-cobas Roche (référence : 04718917-190) (France).

La détermination du cholestérol total a été réalisée selon les étapes suivantes :

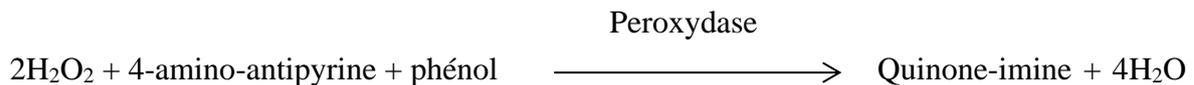
- Le cholestérol-estérase (CE) hydrolyse les esters de cholestérol en cholestérol libre et en acides gras.



- Le cholestérol-oxydase (CHOD) catalyse ensuite l'oxydation du cholestérol en cholest-4-ène-3-one et en eau oxygénée (H₂O₂).



- En présence de la peroxydase (POD), l'eau oxygénée formée réagit avec le phénol et l'4-amino-4-amino-antipyrine pour former un dérivé coloré rouge (quinone-imine).



L'intensité du dérivé coloré (quinonéimine) formé est directement proportionnelle au taux de cholestérol total. Elle est déterminée en mesurant l'absorbance à 500 nm par spectrométrie Automate (cobs c 111, Roche, France).

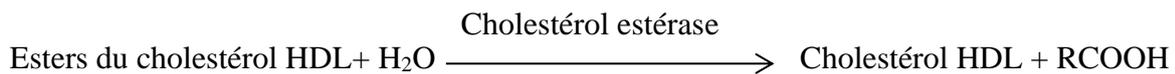
II.4.3.3. Dosage du cholestérol HDL

La détermination du cholestérol HDL a été effectuée par le test colorimétrique enzymatique en phase homogène suivant la méthode de **Burtein et al. (1970)**.

Le dosage est réalisé à l'aide du kit HDL-Cobas Roche (référence : 07528604-190) (France) basé sur le principe ci-dessous :

Les lipoprotéines non-HDL (LDL, VLDL et chylomicrons) sont mises en présence de polyanions et d'un détergent pour former un complexe hydrosoluble. Dans ce complexe, l'effet enzymatique du cholestérol estérase (CE) et du cholestérol oxydase (CHOD) sur les lipoprotéines non-HDL sont bloqués seules les particules de HDL peuvent réagir avec les cholestérols estérase et oxydase selon les étapes suivantes :

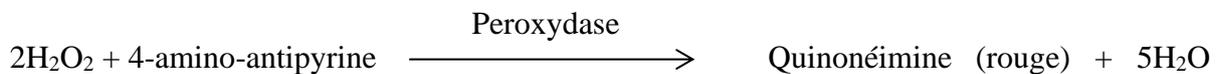
- Les esters du cholestérol sont scindés quantitativement en cholestérol libre et en acides gras sous l'action du cholestérol estérase.



- Dans une réaction catalysée par le cholestérol oxydase, le cholestérol est transformé, en Δ^4 -cholesténone avec formation d'eau oxygénée.



En présence de peroxydase, l'eau oxygénée formée réagit avec la 4-amino-antipyrine et N-éthyl-N-(3-méthylphényl)-N'-succinyléthylènedimine pour produire un dérivé coloré (quinonéimine).

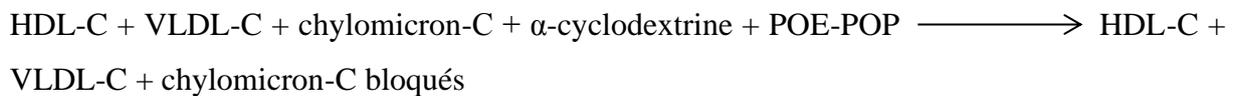


La densité optique de la quinonéimine à 500 nm est proportionnelle à la concentration en cholestérol HDL déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre Automate (cobs c 111, Roche, France).

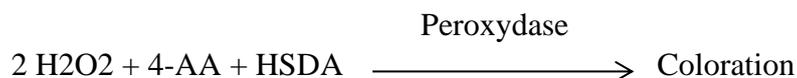
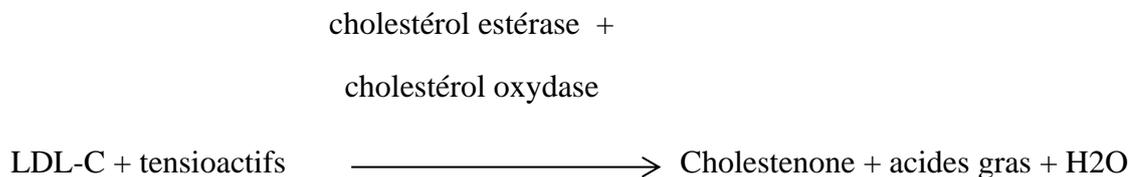
II.4.3.4. Détermination du cholestérol LDL

Le dosage du cholestérol LDL a été réalisé à partir de la méthode colorimétrique enzymatique décrite par **Sugiuchi et al. (1998)**. Le dosage a été réalisé à l'aide du kit Cholestérol LDL-cobas Roche (référence : 07198917-190) (France).

Cette méthode utilise deux groupes de réactifs différents. Le premier groupe contient du MgCl₂, un colorant, un tampon à pH 6,75 et du sulfate d' α -cyclodextrine. Le sulfate d' α -cyclodextrine permet de masquer le cholestérol des chylomicrons et des VLDL en présence d'ions magnésium. Ceci permet une formation des complexes avec ces différentes lipoprotéines solubles dans l'eau et résistants aux réactions enzymatiques.



Le deuxième groupe de réactifs contient les enzymes cholestérol oxydase, cholestérol estérase et peroxydase, un chromogène, un tampon à pH 6,75 et un complexe polyéther polyoxyéthylène polyoxypropylène (POE-POP) qui bloque le cholestérol lié aux HDL. Le chromogène est mesuré par spectrophotométrie à 600 nm.



II.4.4. Dosage des vitamines A et E par Chromatographie Liquide Ultra Performance (UPLC)

Le dosage des vitamines A et E (rétinol et α -tocophérol) a été réalisé par détection UV en chromatographie liquide ultra performance (UPLC) (ACQUITY UPLC, Waters, USA). Les techniques d'extraction et d'analyse de ces vitamines liposolubles ont été réalisées selon la méthode de **Boyvin (2014)** modifiée comme suit :

- **Extraction des vitamines A et E dans le sérum**

L'extraction des lipides a été réalisée à l'abri de la lumière (dans une salle sans éclairage) dans des tubes à hémolyse enveloppés de feuilles de papier en aluminium. Après décongélation à température ambiante d'environ 25° C, 300 μ L de sérum ont été prélevés et recueillis dans des tubes à hémolyse préalablement protégés avec des feuilles de papier en aluminium. Ensuite, 300 μ L d'éthanol absolu ont été additionnés à ce volume de sérum. Le mélange (sérum et éthanol absolu) a été homogénéisé au vortex pendant 20 secondes, puis 1200 μ L d'hexane y ont été ajoutés.

L'ensemble a été à nouveau soumis au vortex deux fois de suite pendant 30 secondes. Ensuite, le mélange centrifugé à l'aide d'une centrifugeuse (Hettich, Do 7200 Tuttlingen, Allemagne) à 3500 tours/min pendant 15 min à une température de 4°C. 900 μ L de surnageant hexanique contenant les vitamines liposolubles ont été prélevés et mis dans des tubes à hémolyse pour l'évaporation sous un courant d'azote à une pression équivalente à 0,5 bar. Après évaporation, 300 μ L de méthanol sont ajoutés au résidu, puis la solution obtenue a été filtrée à travers une membrane de filtration (0,45 μ m) et recueillie dans des tubes de type Vial pour être analysée extemporanément à l'UPLC (ACQUITY UPLC, Waters, USA).

- **Extraction des vitamines A et E dans les organes (cœur et foie)**

L'extraction des lipides a été réalisée à l'abri de la lumière dans une salle sans éclairage. Après décongélation à température ambiante (25° C) des échantillons d'organe broyés, 0,5 g d'organe a été pesé dans des tubes à hémolyse préalablement enveloppés de papier Aluminium. Ensuite, 500 μ L d'éthanol absolu y ont été ajoutés et le mélange a été homogénéisé au vortex pendant 30 secondes. Puis 1500 μ L d'hexane y ont été ajoutés et l'ensemble a été à nouveau soumis au vortex deux fois de suite pendant 30 secondes. L'ensemble a été centrifugé à 3500 tours/min pendant 15 min à 4°C. 900 μ L de surnageant hexanique ont été prélevés dans des tubes à hémolyse pour la phase d'évaporation sous un courant d'azote à une pression équivalente à 0,5 bar. Après évaporation, 500 μ L de méthanol ont été ajoutés au résidu, puis la solution a été

filtrée à travers une membrane de filtration (0,45 µm) et recueillie dans des tubes de type Vial pour être analysée extemporanément à l'UPLC. Les solutions étalons ont été préparées dans les conditions décrites à la section 2-4-6 (détermination quantitative des vitamines A et E).

- **Dosage des vitamines A et E**

Un volume de 0,8 µL d'extrait d'échantillon a été injecté dans la colonne du chromatographe muni d'une pompe réglée pour fournir un débit constant de 1 mL/min et d'une colonne (ACQUITY UPLC R BEHC181.7 µm). L'aire moyenne du pic était calculée à partir de deux injections de l'extrait d'échantillon. La détermination de la concentration en rétinol et en tocophérol de l'extrait se faisait en se reportant à l'aire moyenne du pic de deux injections d'étalon de concentration similaire. Le temps de rétention du rétinol est d'environ 4 min et les injections étaient alternées d'extrait d'échantillon et de solution étalon. La détection U.V. a été réalisée à 325 nm pour la vitamine A et 292 nm pour la vitamine E.

Détermination de la biodisponibilité (BIOD)

La fraction de nutriment biodisponible était celle détectable dans le sang (sérum) ou dans les organes.

$$\% \text{ BIOD} = (\text{qtté nutri Tn} - \text{qtté nutri T0}) \times 100$$

(Eq 6)

Avec :

qtté nutri Tn : quantité du nutriment déterminée chez l'animal essai à un temps donné

qtté nutri T0 : quantité du nutriment déterminée chez l'animal témoin.

II.5. Evaluation des bénéfices nutritifs : Influence de la conservation et de la durée de commercialisation sur la qualité nutritive des huiles

II.5.1. Etude de l'influence de la conservation sur la valeur nutritive des huiles

Les huiles de palme rouge et raffinée achetées dans le commerce étaient souvent conservées par les consommateurs pour une utilisation sur plusieurs jours. Ainsi, 15 échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée de marque R1 et R2 en raison de trois échantillons par type d'huile et trois (3) échantillons d'huile de tournesol (témoin) ont été achetés dans le commerce. Ces huiles ont été recueillies dans les contenants de 1500 mL utilisés habituellement pour la commercialisation. Les échantillons ont été protégés à l'aide de feuilles de papier en aluminium puis conservés dans une glacière à l'abri de la lumière pour le transport. Ces échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée ont été conservés dans les conditions de ménages décrits par des consommateurs (bouteilles d'huiles disposés sur une table au coin de la salle) durant une période définie par les répondants (consommateurs).

Le jour d'achat puis chaque semaine, une quantité d'environ 250 mL de ces huiles étaient transvasées directement dans une bouteille couverte avec des feuilles de papier en aluminium et transportée dans une glacière à l'abri de la lumière pour les analyses. Ces aliquotes ont été soumises au dosage de provitamine A et de vitamine E et à la détermination des indices d'acide, d'iode et de peroxyde au cours de la conservation des huiles.

II.5.2. Etude de l'influence des rayons solaires sur la valeur nutritive des huiles

Les huiles de palme rouge et raffinée étant souvent exposées aux rayons solaires au cours de la vente, une expérimentation a été réalisée dans ces mêmes conditions de commercialisation. Celle-ci a consisté à exposer au rayonnement solaire 18 échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée collectés. Un échantillon correspondait à 1500 mL d'huile de palme. Ces échantillons ont été collectés dans les contenants habituellement utilisés pour la vente puis protégés à l'aide de feuilles de papier en aluminium et conservés dans une glacière pour le transport.

Environ 250 mL de ces différentes huiles ont été transvasées directement dans des bouteilles distinctes couvertes de feuilles de papier en aluminium puis disposés dans une glacière pour l'acheminement au laboratoire. Le jour d'achat des huiles puis chaque semaine, des aliquotes (250 mL) ont été prélevés et soumis au dosage de provitamine A et de vitamine E et à la détermination des indices d'acide, d'iode et de peroxyde. La durée de l'expérience était définie

en fonction du temps maximal d'exposition des huiles décrit par les commerçants et commerçantes.

Dans le cas de l'étude des bénéfices nutritifs des huiles de palme rouge et raffinée conservées ou commercialisées, les échantillons utilisés ont été collectés auprès des commerçants et commerçantes ayant des stocks d'huiles de palme rouge (conditionnés dans des bidons de couleur verte ou jaune de 25 L) et raffinée conservés dans des magasins. Les lots d'huiles de palme rouge et raffinée utilisés pour l'échantillonnage faisaient partir des provisions d'huiles de palme les plus récemment produites ou achetées par ces commerçants et commerçantes. Ces échantillons (1500 mL) étaient soit protégés à l'aide de feuilles de papier en aluminium ou non protégé avant la conservation ou l'exposition au rayonnement solaire (**Tableau VI**).

Tableau VI : Distribution des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée R1 et R2

Type d'huile	Type d'échantillon	
	Echantillons non protégés	Echantillons protégés
Huile de palme rouge	3	3
Huile de palme raffinée R1	3	3
Huile de palme raffinée R2	3	3
Huile de tournesol (témoin)	3	0

Les résultats des analyses ont permis de déterminer les teneurs en acides gras libres, insaturés et en peroxydes. Puis, de quantifier les pertes éventuelles en provitamine A et en vitamine E des échantillons d'huiles de palme conservés et exposés aux rayonnements solaires selon l'équation suivante :

$$Teneur\ en\ vit = \frac{quantité\ de\ vitamine\ S0 - quantité\ de\ vitamine\ Sn}{quantité\ de\ vitamine\ S0} \times 100$$

Avec :

Vit : vitamine

S0 : jour d'achat des huiles

S : semaine

n : 1, 2, 3 et 4.

II.6. Evaluation du risque d'hypercholestérolémie lié à la consommation des huiles de palme rouge et raffinée produites en Côte d'Ivoire

II.6.1. Construction d'un modèle d'évaluation du risque chimique

L'évaluation de risque a été effectuée selon la méthode du Codex Alimentarius (**Codex Alimentarius, 1999**) décrite en quatre étapes (identification de danger, caractérisation du danger, estimation du danger et caractérisation du risque). La construction d'un modèle d'évaluation de risque est effectuée à la troisième étape, c'est-à-dire l'estimation de l'exposition. Selon la définition du Codex Alimentarius, l'estimation de l'exposition est l'évaluation quantitative et/ou qualitative de l'ingestion probable de dangers (biologiques, chimiques, physiques) des aliments.

Elle consiste à quantifier le niveau de produits chimiques, de micro-organismes ou des toxines auxquelles les populations humaines, sous-groupes de la population et des individus sont exposés, en termes d'ampleur, de durée et de fréquence. C'est à ce niveau que l'ingestion probable du danger (acide palmitique) est déterminée. Dans cette étude, le modèle permettant d'estimer l'ingestion probable du danger nommé « **I** » est défini en fonction de plusieurs paramètres décrits par :

- les quantités d'huiles de palme brute et raffinée consommées par individu dans la population investiguée « **Q** »

- la fréquence de consommation journalière des huiles de palme brute et raffinées « **F** »

- les concentrations en acide palmitique des huiles de palme brute et raffinées consommées « **C** »

Les données obtenues des différentes variables C, Q et F peuvent être source d'incertitudes comme par exemple une surestimation ou une sous-estimation de la quantité d'huile consommée par individu ou encore la non représentativité des données. Ainsi, les informations apportées par les différentes données (C, Q, F) sont intégrées dans un modèle utilisant une approche probabiliste sous la forme de distributions probables de variables du modèle.

Lors de la construction d'un modèle, différentes méthodes peuvent être appliquées pour quantifier l'incertitude des paramètres du modèle ou pour ajuster des distributions de variabilité à partir de données. Dans ce présent travail, l'ajustement de l'incertitude a été effectué à partir du modèle de distribution des variabilités faisant recours à la méthode bootstrap. Cette méthode

a permis de rééchantillonner les données obtenues des différentes distributions relatives aux variables C, Q et F rapportant ainsi la taille de l'échantillon initial à 20000 dans notre cas. L'un des atouts de cette méthode est de se rapprocher davantage de la réalité.

Les distributions des différentes variables (C, Q, F) ont permis d'estimer l'exposition à partir de l'équation suivante :

$$I = C \times Q \times F \quad (\text{Eq 7})$$

Avec :

I : quantité d'acide palmitique ingérée (g)

C : distribution des concentrations en acide palmitique des huiles de palme (g/100 g)

Q : distribution des quantités d'huile de palme consommée (g)

F : distribution de la fréquence de consommation des huiles de palme (j^{-1})

Une fois construit, ce modèle a permis d'estimer l'exposition, c'est-à-dire de définir le risque d'hypercholestérolémie lié à l'ingestion de l'acide palmitique contenu dans les huiles de palme brute et raffinée par la méthode de simulation de Monte Carlo. Cette méthode consiste à effectuer des itérations à partir des valeurs des variables C, Q, F. Au total, 1500 itérations ont été effectuées dans notre cas.

Chaque simulation est un calcul numérique correspondant à une situation possible, plus ou moins probable, d'un système réel. Suivant les valeurs de l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) décrites par **Guy-grand (2017)**, l'Apport Nutritionnel Conseillé (ANC) en acide palmitique ne doit pas dépasser 8 % des besoins énergétiques d'un adulte dépassant 2000 Kcal par jour. Ces 8 % correspondent à une consommation journalière de 17,78 g d'acide palmitique. Par conséquent, le risque d'hypercholestérolémie a été défini comme étant la probabilité d'ingérer des quantités d'acides palmitiques supérieures à la dose limite (17,78 g). Cette probabilité nommée « **P₂** » se définit comme étant égale à $1 - \mathbf{P1}$ avec « **P1** », la probabilité d'ingérer l'acide palmitique contenu dans les huiles de palme à des doses qui ne dépassent pas l'Apport nutritionnel Conseillé.

Ainsi, les quantités d'acide palmitique ingérées par individu à des doses inférieures, égales ou supérieures au seuil de l'ANC en acide palmitique ont permis de déterminer deux groupes de

consommateurs :

- d'une part, les proportions de populations ingérant des quantités d'acides palmitiques à des doses inférieures ou égales au seuil (17,78 g/j); celles-ci n'observent pas une augmentation probable du taux de cholestérol sérique suite à la consommation des huiles de palme « Probabilité P_1 ». Cette probabilité P_1 s'obtient par la projection de la dose limite d'apport en acide palmitique (17,78 g) sur la fonction des densités cumulées décrite par les différentes itérations.
- d'autre part, la proportion de populations en cas probable d'augmentation du taux de cholestérol sérique « P_2 » est observée. Cette probabilité décrit le risque d'hypercholestérolémie et est déterminée à partir de la formule :

$$P_2 = 1 - P_1 \quad (\text{Eq 8})$$

Avec :

P_1 : proportions de populations n'observant pas une augmentation probable de leur taux de cholestérol sanguin (hypercholestérolémie) suite à la consommation des huiles de palme rouge et raffinées (R1 et R2).

P_2 « **Risque** » : proportions de populations ayant une augmentation probable de leur taux de cholestérol sanguin (hypercholestérolémie) suite à la consommation des huiles de palme rouge et raffinées (R1 et R2).

II.6.2. Ajustement de l'incertitude par la méthode du Bootstrap

Le terme Bootstrap ou rééchantillonnage, ou Resampling en anglais, est une appellation inspirée du baron de Münchhausen (Rudolph Erich Raspe) qui se sortit de sables mouvants par traction sur ses tirants des bottes (**Anonyme 4, 2010**). Il désigne un ensemble de méthodes qui consiste à faire de l'inférence statistique sur de "nouveaux" échantillons tirés à partir d'un échantillon initial (**Anonyme 5, 2010; Huber, 2006**). C'est **Efron (1979)** qui fut le premier à mettre en valeur cette méthode connue depuis longtemps mais non exploitée, notamment à cause du temps de calcul qu'elle implique (**Efron, 1979; Horowitz, 2001; Flachaire, 2003; Anonyme 6, 2010**).

- Principe

Disposant d'un échantillon destiné à donner une certaine information sur une population, un nouvel échantillon de même taille n est tiré au sort, parmi la sous-population réduite à cet échantillon. Cette opération est répétée B fois, où B est grand (20000 échantillons dans notre cas). Les nouvelles observations ainsi obtenues sont analysées pour affiner l'inférence faite sur les observations initiales. Ce rééchantillonnage, n'ajoute aucune information (toute l'information étant contenue dans l'échantillon initial) mais permet, d'extraire de l'échantillon de base l'information souhaitée (**Efron, 1979; Huber, 2006**).

II.6.3. Méthode de Monte Carlo

En mathématiques, l'on appelle méthode de Monte Carlo toute méthode visant à calculer une valeur numérique en utilisant des procédés aléatoires, c'est-à-dire des techniques probabilistes (**Rubino et Tuffin, 2007; Peyre, 2011**). Le nom de cette méthode fait allusion aux jeux de hasard pratiqué à Monte Carlo (quartier de Monaco), et a été inventé en 1947 par Métropolis, inspiré de l'intérêt de son collaborateur Ulman pour le poker (**Peyre, 2011; Baranger et Mathiaud, 2012**).

Cette méthode probabiliste nécessite des distributions de probabilités pour représenter soit la variabilité, soit l'incertitude sur un paramètre. Lorsque le modèle sur chaque variable (ou paramètre) est construit, il est possible d'obtenir des distributions de probabilité des variables en utilisant les simulations de type Monte Carlo comme l'indique la **figure 25 (Assidjo et al., 2013)**. Ainsi, à partir des distributions d'entrées, c'est-à-dire la distribution de C_d (concentration du danger), de C_p (consommation du produit en termes de quantité) la distribution de l'ingestion probable du danger (I) est obtenue à partir des calculs en utilisant les simulations de type Monte Carlo.

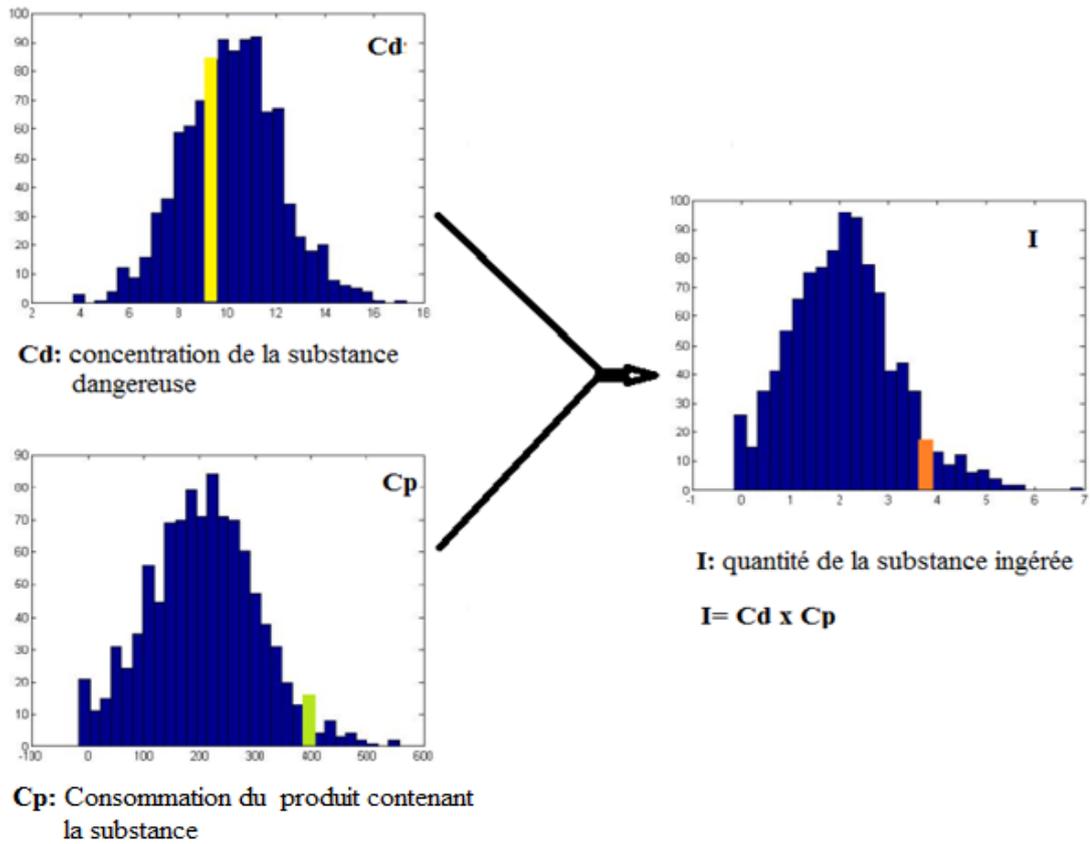


Figure 26: Résultat du produit de deux distributions (Cd et Cp) avec les simulations de type Monte Carlo

(Assidjo et al., 2013)

A decorative blue border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and a small circular flourish at the top right corner.

RESULTATS ET DISCUSSION

PARTIE I : ENQUÊTE SOCIO-DEMOGRAPHIQUE ET ALIMENTAIRE

I. RESULTATS

I.1. Evaluation de la fréquence de consommation alimentaire

I.1.1. Fréquence de consommation des groupes d'aliments (16 groupes d'aliments)

La **figure 27** présente la distribution de la fréquence de consommation journalière des différents groupes d'aliments. Elle révèle d'abord que le groupe d'aliment composé d'épices, condiments, boissons était consommé par l'ensemble des personnes enquêtées (100 %). Ensuite, les poissons et fruits de mer, ainsi que les huiles et graisses étaient consommés à des fréquences respectives de 93,95 % et 93,83 %. Les fréquences de consommation des céréales, racines et tubercules étaient respectivement de 89,97 % et 87,27 %. Les groupes d'aliments tels que : "autres légumes" "sucreries", "autres fruits" et "légumineuse, noix, graines" étaient consommés à des fréquences respectivement 54,07 %; 31,52 %; 29,58 % et 29,34 %. Avec une fréquence de 22,32 %, le groupe "fruits riches en vitamine A" était plus consommé que le groupe "viande" (18,55 %). Le groupe "lait et produits laitiers" venait après le groupe "viande", avec une fréquence de consommation de 16,03 %. Il était suivi des groupes "légumes feuilles verts foncés", "œufs", et "abats" qui avaient respectivement des fréquences de consommation de 14,75 %, 10,63 % et 3,20 %. Enfin, le groupe légumes et tubercules riches en vitamine A était moins consommé avec une fréquence de 0,33 %.

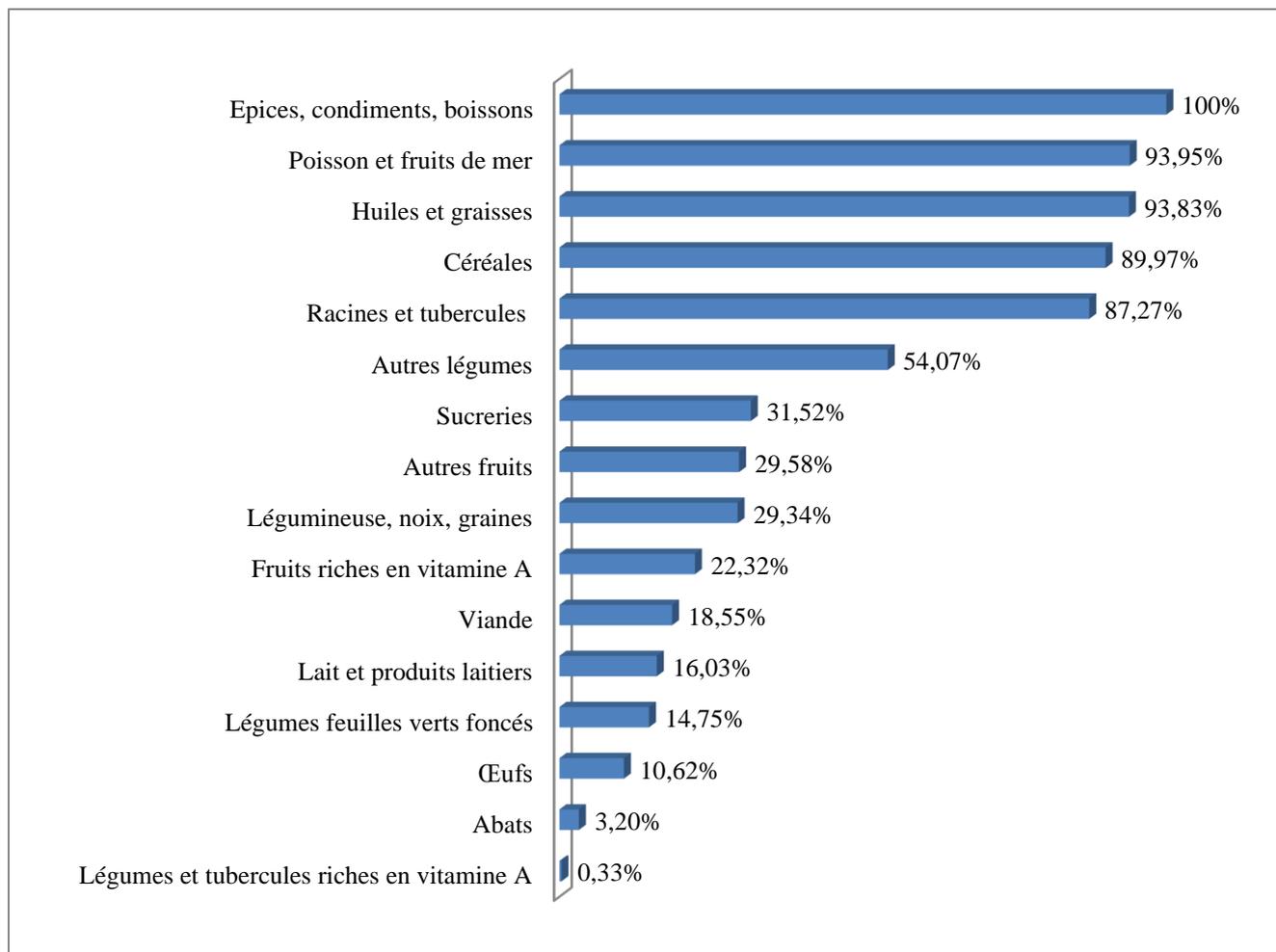


Figure 27: Distribution de la fréquence de consommation des 16 groupes d'aliments

I.1.2. Structuration de la variabilité de la consommation des groupes d'aliments

I.1.2.1. Analyse en Composantes Principales (ACP) de la fréquence d'utilisation des 16 groupes d'aliments dans la confection des mets

L'Analyse en Composante Principale réalisée avec les paramètres des fréquences de consommation des aliments par les individus des différentes zones d'étude a permis de déterminer un nuage de point des groupes d'aliments. Le nuage des groupes d'aliments est représenté avec 58,34 % de l'inertie globale (**Tableau VII**).

Tableau VII : Matrice des valeurs propres des facteurs résultant de l'ACP de la fréquence de consommation des 16 groupes d'aliments

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
Valeur propre	5,2617	4,0730	2,6013	1,7409	1,4896	0,8335
Variabilité (%)	32,8857	25,4560	16,2583	10,8805	9,3102	5,2093
% cumulé	32,8857	58,3417	74,6000	85,4805	94,7907	100,0000

Le cercle de corrélation indique quatre (4) sous-ensembles de groupes d'aliments. Le premier sous-ensemble (S1) était caractérisé par les groupes d'aliments V3 (autres légumes), V6 (autres fruits) et V13 (épices, condiments, boissons). Le second sous-ensemble (S2) présentait une corrélation des groupes d'aliments V1 (céréales), V4 (légumineuses) et V8 (viande). Le troisième sous-ensemble (S3) exprimait une bonne corrélation des groupes d'aliments V11 (lait et produits laitiers) et V12 (sucreries). Le quatrième sous-ensemble (S4) définissait une bonne corrélation des groupes d'aliments V2 (racines et tubercules), V5 (abats) et V7 (fruits riches en vitamine A). La première composante principale Axe 1 explique 32,89 % de l'inertie. Elle traduit l'opposition entre le deuxième sous-ensemble qui lui est corrélé négativement et le quatrième sous-ensemble lui exprimant une corrélation positive. La deuxième composante principale Axe 2 qui représente 25,46 % de l'inertie est corrélée négativement au troisième sous-ensemble et au groupe d'aliment V9 (œufs). Elle est corrélée positivement au groupe d'aliment V10 (poissons et fruits de mer) (**Figure 28 a**).

La **figure 28 b** définit la projection des individus (les populations des chefs-lieux de districts et de régions étudiés) dans le plan formé par les axes 1 et 2. Ces individus peuvent être répartis en trois groupes. Le groupe 1 (G1) est constitué par les populations d'Abengourou et de Daloa. Celles-ci sont caractérisées par la consommation des autres légumes (V3), autres fruits (V6), et

les épices, condiments et boissons (V13). Le deuxième groupe est constitué par les individus provenant de trois zones d'étude : Dabou, Man et Yamoussoukro. Ce second groupe (G2) présente une corrélation avec des groupes d'aliments tels que les racines et tubercules (V2), fruits riches en vitamine A (V5), abats (V7) ainsi que le lait et produits laitiers (V11) et les sucreries (V12). Le troisième groupe (G3) est composé par les populations provenant des districts d'Abidjan et de Korhogo et expriment une bonne corrélation avec des groupes d'aliments V1 (céréales), V4 (légumineuses, noix et graines) et V8 (Viande). La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) permet de confirmer les trois (3) classes d'individus à une distance euclidienne d'agrégation d'environ 14 (**Figure 29**).

Les groupes d'aliments huiles et graisses, légumes feuilles verts foncés, racines et tubercules riches en vitamine A ne figurent pas parmi les différents sous-ensembles définissant les trois groupes (G1, G2, G3) identifiés. Les fréquences de consommation de ces groupes d'aliments ne varient pas d'une zone à une autre.

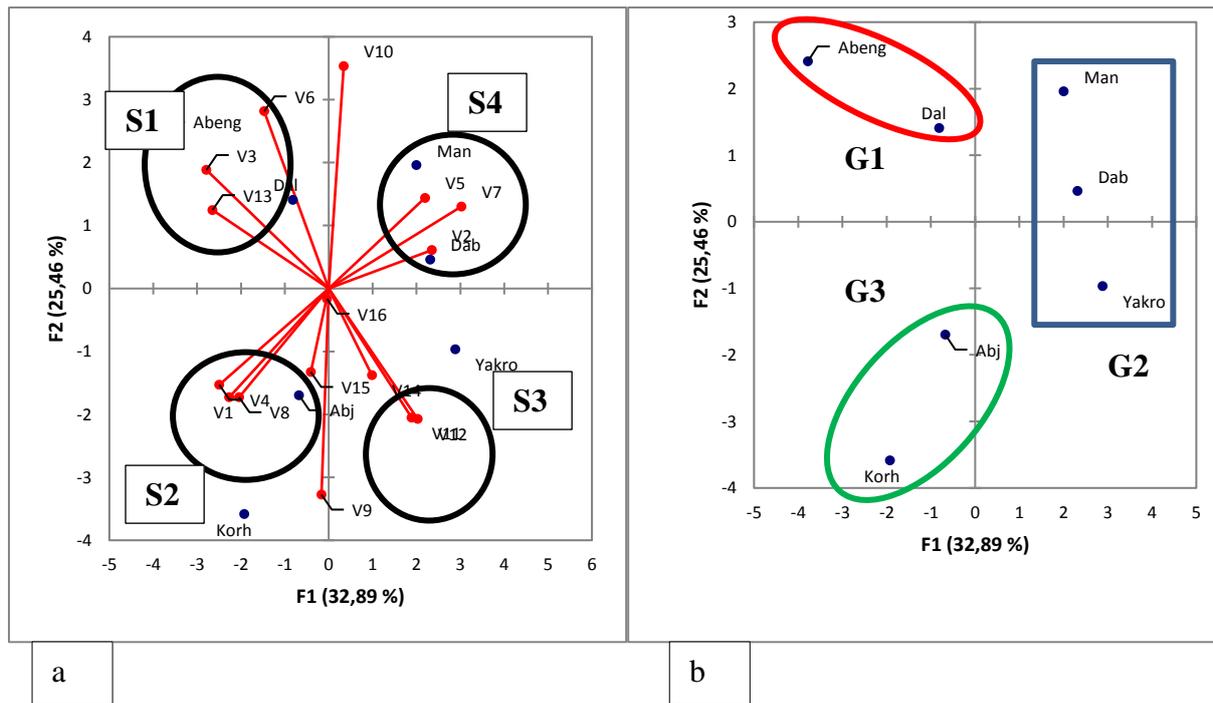


Figure 28: Projection des variables (a) et des individus (b) dérivant de la fréquence de consommation des 16 groupes d'aliments dans sept (7) chefs-lieux de districts de Côte d'Ivoire

V1 : Céréales, V2 : Racines-Tubercules, V3 : Autres légumes, V4 : Légumineuses, noix et graines, V5 : Fruits riches en vit A, V6 : Autres fruits, V7 : Abats, V8 : Viande, V9 : Œufs, V10 : Poissons, fruits de mer, V11 : Lait et produits laitiers, V12 : Sucreries, V13 : Epices, Condiments, Boissons, V14 : Légumes feuilles verts foncés, V15 : Légumes et tubercules riches en vitamine A, V16 : Huiles et graisses.

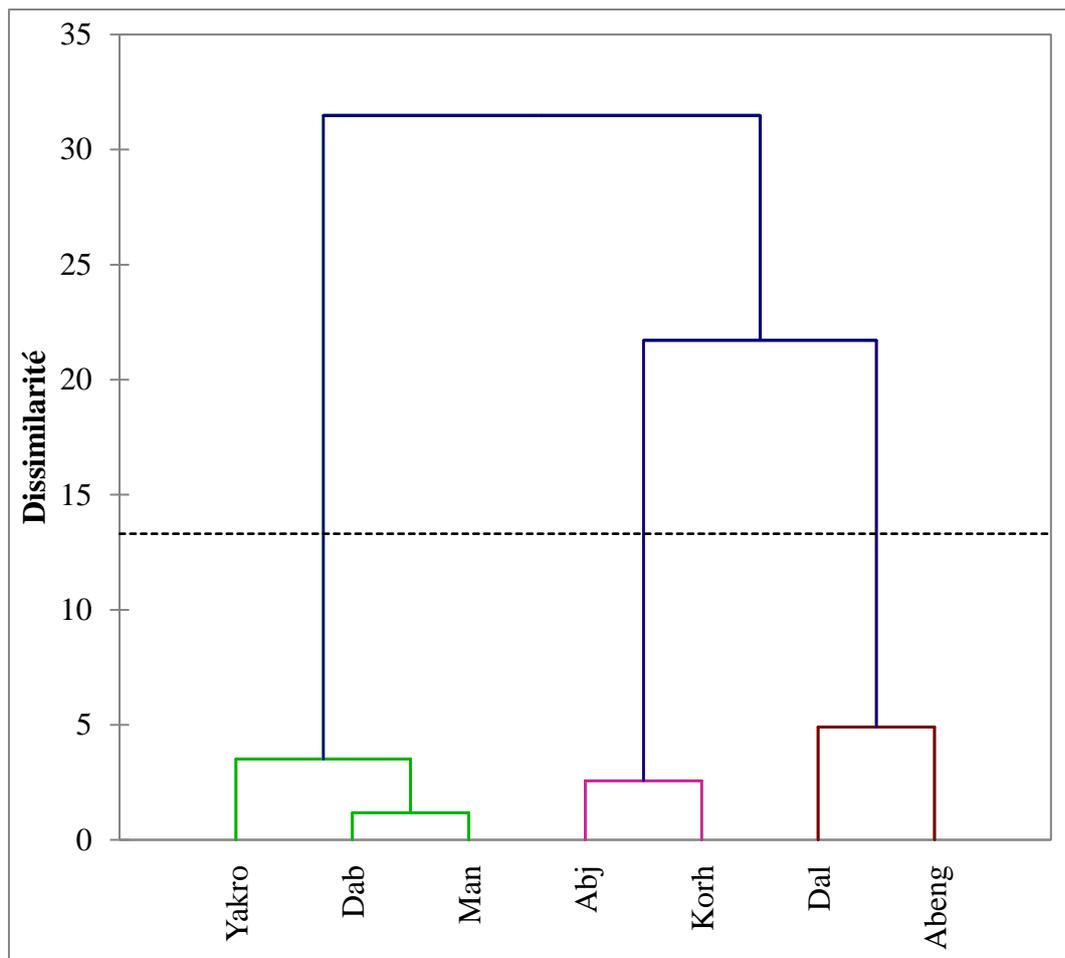


Figure 29 : Classification ascendante hiérarchique de la fréquence de consommation des 16 groupes d'aliments dans les sept (7) zones d'étude

I.1.2.2. Analyse en composantes principales de la fréquence de consommation des aliments de base

L'analyse de la variabilité entre la consommation des aliments de base et la provenance a été faite par l'ACP. Cette réalisation a permis de représenter un nuage de point des aliments de base qui décrit 86,56 % de l'inertie globale (**Tableau VIII**).

Tableau VIII : Matrice des valeurs propres des facteurs résultant de l'ACP de la fréquence de consommation des aliments de base dans les zones d'études

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6
Val propre	3,901	2,158	0,691	0,189	0,053	0,008
Total variance	55,725	30,827	9,873	2,705	0,760	0,109
Cumul %	55,725	86,553	96,426	99,131	99,890	100,000

La première composante Axe 1 avec 55,73 % de la variabilité expliquée, oppose les caractéristiques liées à la consommation de l'igname, la banane plantain (corrélé positivement) et du riz, maïs, mil (corrélé négativement). La deuxième composante Axe 2 qui représente 30,83 % de la variabilité exprime la fréquence de consommation du blé et du manioc qui lui sont corrélés négativement (**Figure 30 a**). La projection du mode de consommation des aliments de base et des zones d'étude est faite dans le plan formé par les axes 1 et 2 (**Figure 30 b**). Elle répartit les individus en trois groupes. Le premier groupe est essentiellement constitué de la population de Korhogo qui est caractérisée par une consommation plus accentuée en riz, maïs et mil. Les individus du groupe 2 sont issus d'Abengourou, ils consomment plus de l'igname et la banane plantain. Le troisième groupe est constitué des districts de Yamoussoukro, Dabou, Abidjan, Daloa et Man. Ceux-ci sont caractérisés par leurs consommations marquées de manioc et du blé.

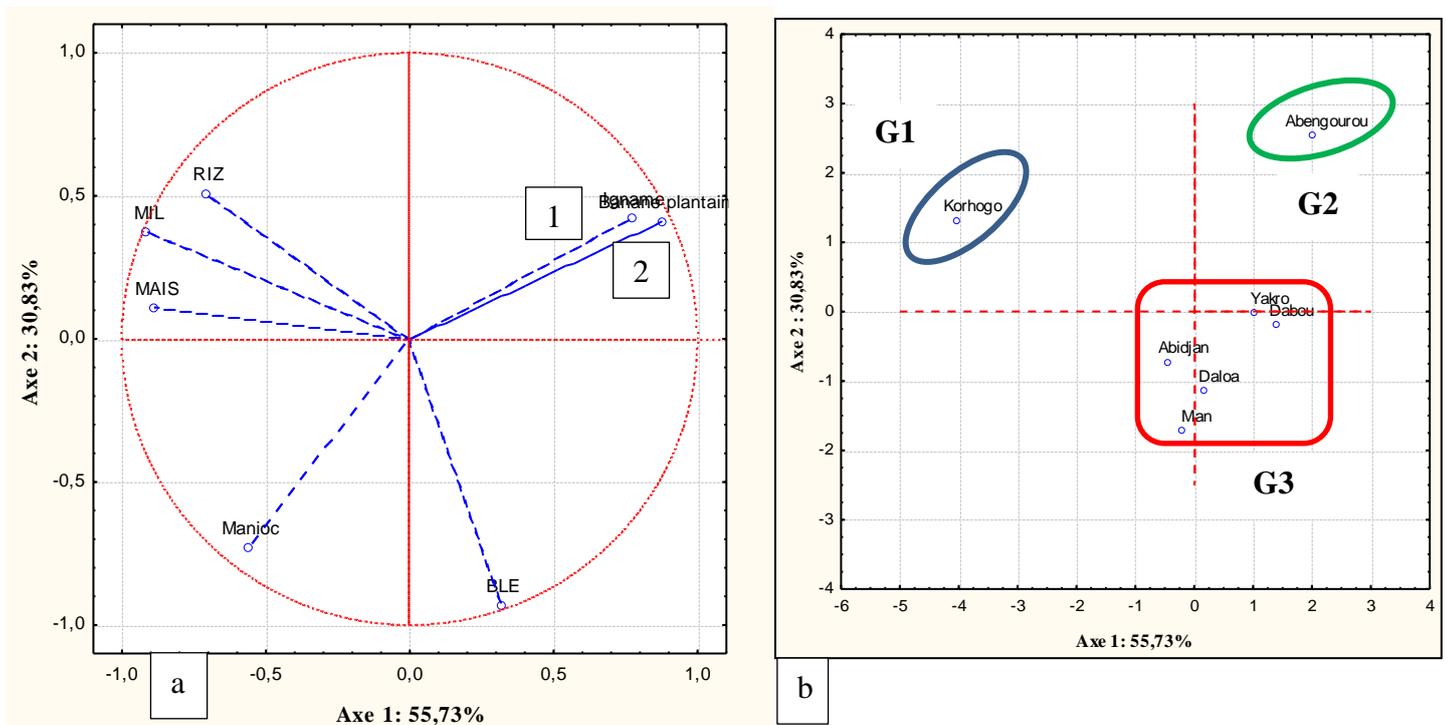


Figure 30 : Projection des variables (a) et des individus (b) dérivant du mode de consommation des aliments de base dans 7 chefs-lieux de districts de Côte d'Ivoire

1 : Igname, 2 : Banane plantain

I.1.3. Evaluation de l'apport énergétique des aliments de base

Les apports énergétiques des quantités moyennes des aliments de base consommées par l'ensemble des populations enquêtées sont répertoriés dans le **tableau IX**. La quantité moyenne de riz, d'igname et de banane plantain cuite consommée par jour et par repas est de $562,50 \pm 290,50$ g. Ces aliments apportent respectivement $1985,64 \pm 1025,37$ kcal, $1081,14 \pm 558,29$ kcal et $826,31 \pm 339,85$ kcal par repas par jour. Quant aux quantités moyennes de maïs et de manioc ingérées par jour et par repas, elle est de $450,00 \pm 225,00$ g. Ces aliments de base (maïs, manioc) apportent respectivement $2045,85 \pm 1056,41$ kcal et $882,35 \pm 439,01$ kcal par jour et par repas. Les quantités moyennes de pain et de mil consommées par jour et par repas sont respectivement de 225 ± 25 et de $116,07 \pm 77,16$ g. L'apport énergétique du pain est de $304,82 \pm 206,10$ Kcal et celui du mil est de $806,40 \pm 89,60$ Kcal. Les fréquences de consommation journalières du riz, manioc, pain, de la banane plantain sont de 33,66; 23,09, 22,92 et 17,70 %. Le maïs, l'igname et le mil ont des fréquences journalières de consommation respectives de, 5,86; 5,14 et de 2,08 %.

Tableau IX : Apport énergétique des aliments de base consommé

Aliments	quantité moyenne consommées/repas/jour (g)	Apports énergétiques moyens/repas/jour (Kcal)	Fréquence de consommation moyens/repas/jour (%)
Riz	$562,50 \pm 290,50$	$1985,64 \pm 1025,37^e$	33,66
Maïs	$450,00 \pm 225,00$	$2045,85 \pm 1056,41^e$	5,86
Igname	$562,50 \pm 290,50$	$1081,14 \pm 558,29^d$	5,14
Manioc	$450,00 \pm 225,00$	$882,35 \pm 439,01^c$	23,09
Banane plantain	$562,50 \pm 290,50$	$826,31 \pm 339,85^c$	17,70
Mil	225 ± 25	$806,40 \pm 89,60^b$	2,08
Pain	$116,07 \pm 77,16$	$304,82 \pm 206,10^a$	22,92

Les valeurs en colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes avec le test LSD Fisher au seuil de 5 %

I.1.4. Répartition de la population selon le sexe et la fréquence de consommation des huiles et graisses

La répartition des populations en fonction du sexe montre que 56 % des personnes enquêtées étaient des femmes et 44 % des hommes (**Figure 31 A**). La fréquence de consommation des huiles et graisses était de 83,93 % chez les hommes et de 86,51 % pour les femmes. Les proportions de femmes et des hommes n'ayant pas consommées les huiles et graisses en 24 heures étaient respectivement de 13,49 % et de 16,05% (**Figure 31 B**).

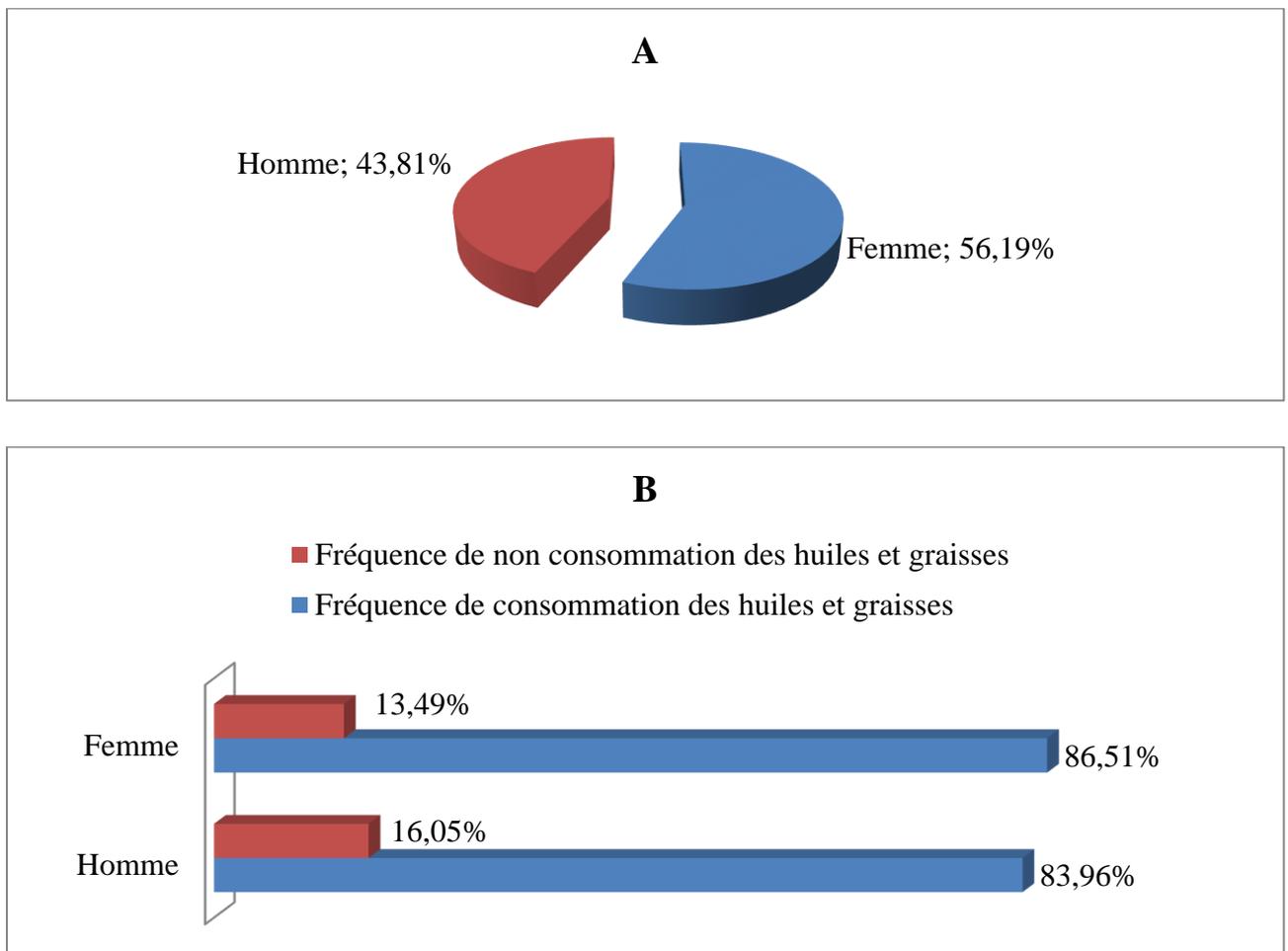


Figure 31: Répartition de la population étudiée selon l'âge (A) et de la fréquence de consommation des huiles et graisses (B)

I.1.5. Répartition de la population selon la situation matrimoniale et la fréquence de consommation des huiles et graisses

L'analyse des résultats selon la situation matrimoniale montre que les personnes enquêtées étaient en majorité des célibataires (47,55 %) et des concubins (34,07 %). Dans cette population enquêtée, il était dénombré également des mariés (17,89 %) et des veufs/veuves (0,49 %) (**Figure 32 A**). La fréquence de consommation des huiles et graisses variait d'une situation matrimoniale à une autre. Elle était de 95,71 % chez les célibataires, de 85,37 % concernant les concubins, de 83,58 % chez les mariés et de 0 % chez les veufs et veuves. Les proportions de veufs/veuves, mariés, concubins et célibataires n'ayant pas consommées le groupe d'aliment huiles et graisses étaient respectivement de 100 %, 16,42 %, 14,63 % et 4,29 % (**Figure 32 B**).

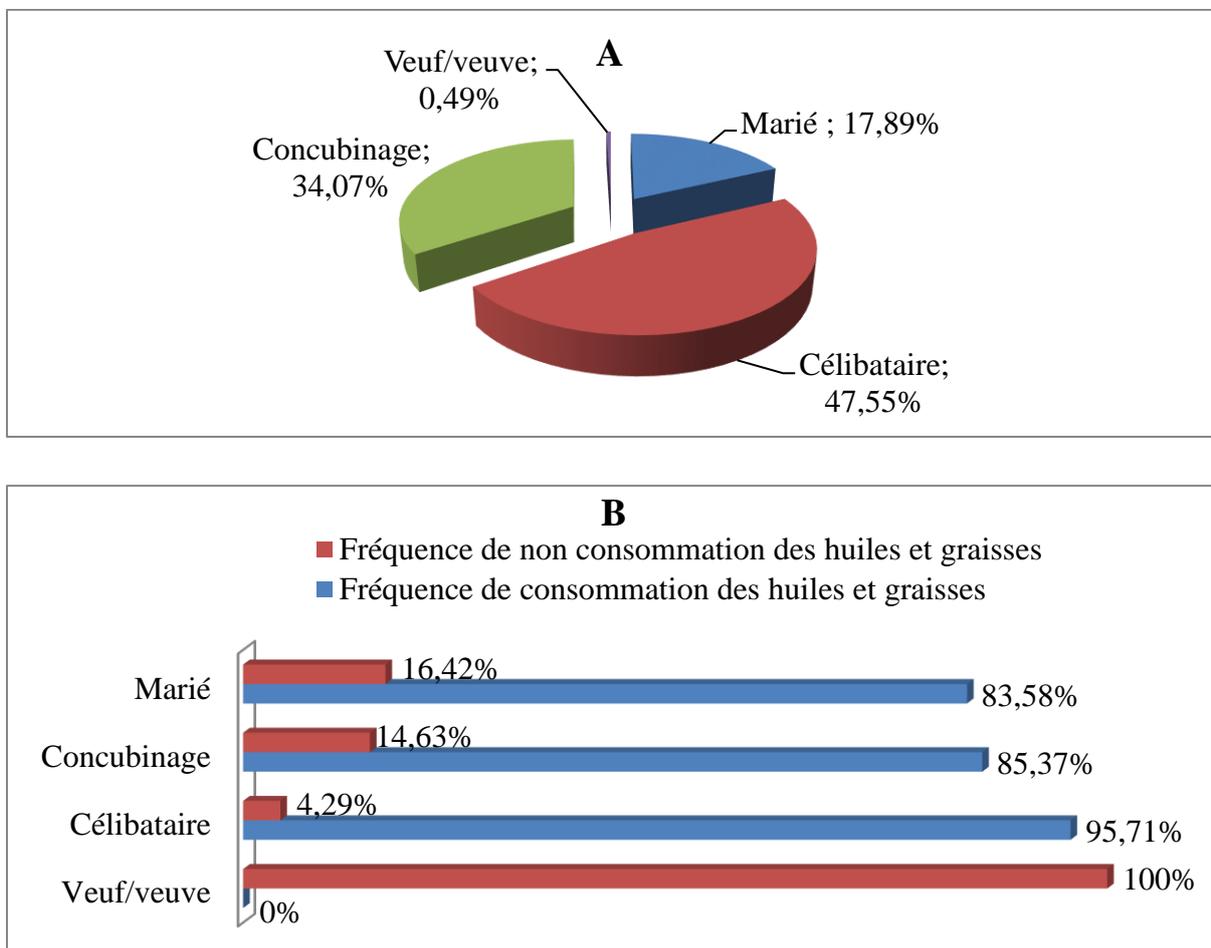


Figure 32 : Répartition de la population étudiée selon la situation matrimoniale (**A**) et de la fréquence de la consommation des huiles et graisses (**B**)

I.1.6. Fréquence de consommation des huiles de palme rouge et raffinée

L'analyse de la **figure 33** indique les fréquences de consommation des huiles de palme rouge et raffinées. L'huile de palme rouge était moins fréquente dans l'alimentation des populations enquêtées avec une fréquence journalière de 7,43 %. La majorité de la population enquêtée (49,26 %) consommait l'huile de palme rouge au moins une fois par mois. Par ailleurs, les huiles raffinées de marque R1 et R2 étaient les plus présentes dans les mets de cette population enquêtée. Ces personnes consommaient de façon journalière les huiles de palme raffinées de marque R1 et R2, respectivement à 85,40 % et 77,72 %.

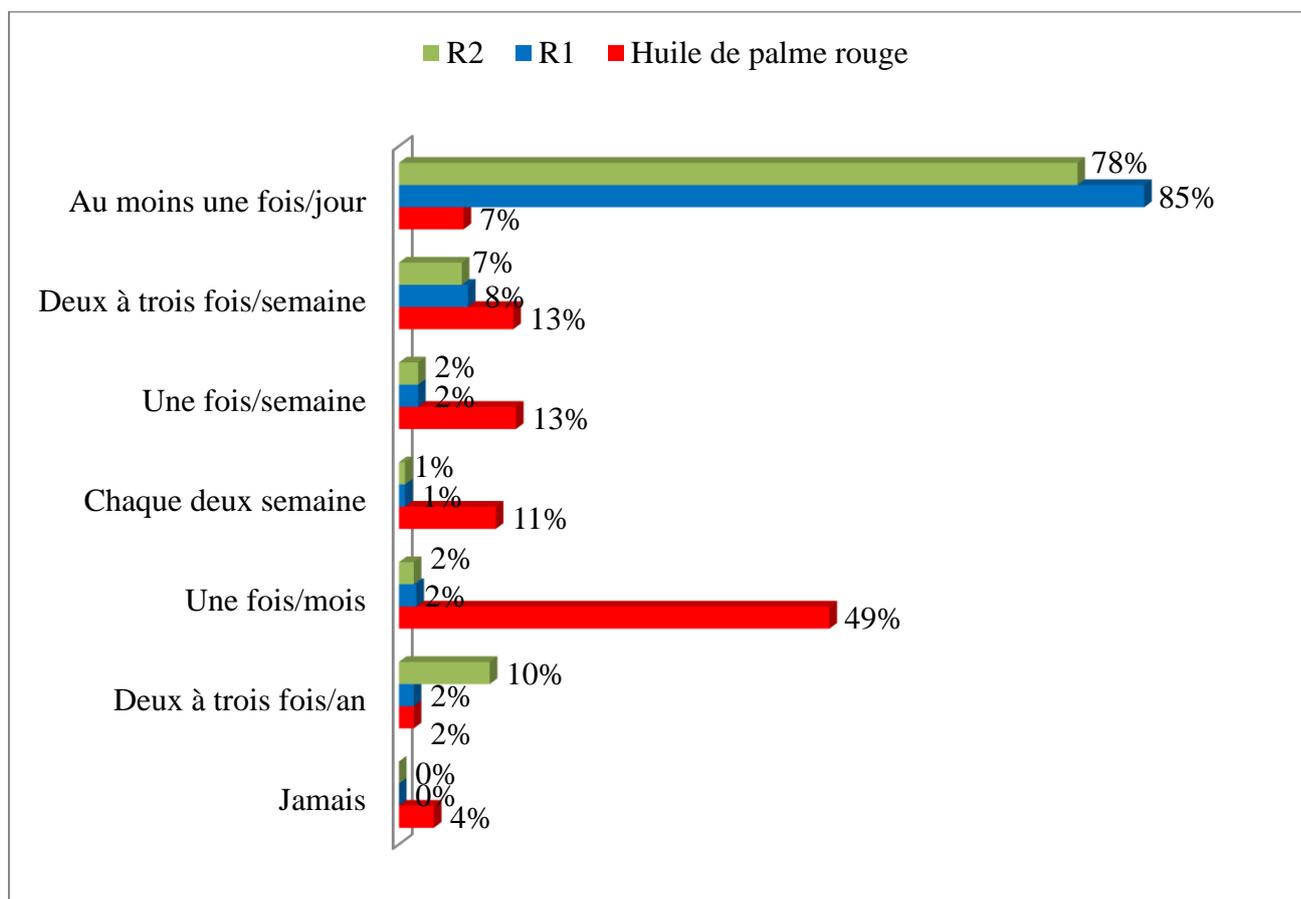


Figure 33: Fréquence de consommation des huiles de palme rouge et raffinée de marque R1 et R2

I.1.7. Score de Diversité Alimentaire des Individus (SDAI) et fréquence de consommation des huiles de palme

La **figure 34** décrit le Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI) de la population des chefs-lieux de districts et régions dont la moyenne est de $4,38 \pm 1,21$. La subdivision de ce score en tercile (**Tableau X**), montre que 23,46 % de la population a consommé moins de quatre groupes d'aliments différents en 24 heures. Les différents groupes d'aliments consommés sont composés de céréales, des huiles et graisses, des épices, condiments, boissons et présente une diversité alimentaire faible.

La diversité alimentaire moyenne était observée chez 29,63 % de la population. Celles-ci avaient consommé en moyenne quatre groupes d'aliments différents pendant 24 heures. En plus des céréales, huiles et graisses, épices, condiments et boissons, leur alimentation était aussi constituée de poissons et fruits de mer. Par contre, la diversité alimentaire individuelle était élevée chez 46,91 % de la population enquêtée. Ces individus avaient consommé plus de quatre groupes d'aliments différents au cours des 24 heures précédant l'enquête. Leur alimentation était composée de céréales, racines et tubercules, autres légumes, poissons et fruits de mer, huiles et graisses, sucreries et des épices, condiments, boissons. Au total, 53,09 % de la population enquêtée expriment une diversité alimentaire non satisfaisante.

Les SDAI de la population des différents chefs-lieux de districts présentés par le **tableau XI** révèle que le SDAI moyen des populations de chaque zone était compris entre 3,43 et 5,87. Le SDAI le moins élevé était observé auprès de la population de Korhogo (3,43) tandis que celle de la ville d'Abidjan (5,87) présente le SDAI le plus élevé.

L'analyse statistique des SDAI décrit une différence significative entre les SDAI des villes. De même, le Test post hoc de Fisher permet de regrouper les Sept (7) chefs-lieux de districts en trois (3) groupes. Le premier groupe renferme les populations des villes de Korhogo ($3,43 \pm 1,24$), Man ($3,80 \pm 1,15$) et Abengourou ($3,95 \pm 1,26$) qui avaient les diversités alimentaires individuelles les plus faibles. Daloa ($4,45 \pm 1,15$), Dabou ($4,77 \pm 0,94$) et Yamoussoukro ($4,40 \pm 1,32$) présentent des SDAI intermédiaires. La diversité alimentaire élevée est observée auprès des populations d'Abidjan ($5,87 \pm 1,13$). L'étude de corrélation entre les SDAI et les fréquences de consommation des huiles de palme rouge et raffinée met en exergue que cette corrélation est comprise entre 7 % et 12 %. La relation entre le score et la fréquence de consommation des huiles de palme n'est pas linéaire (**Tableau XII**).

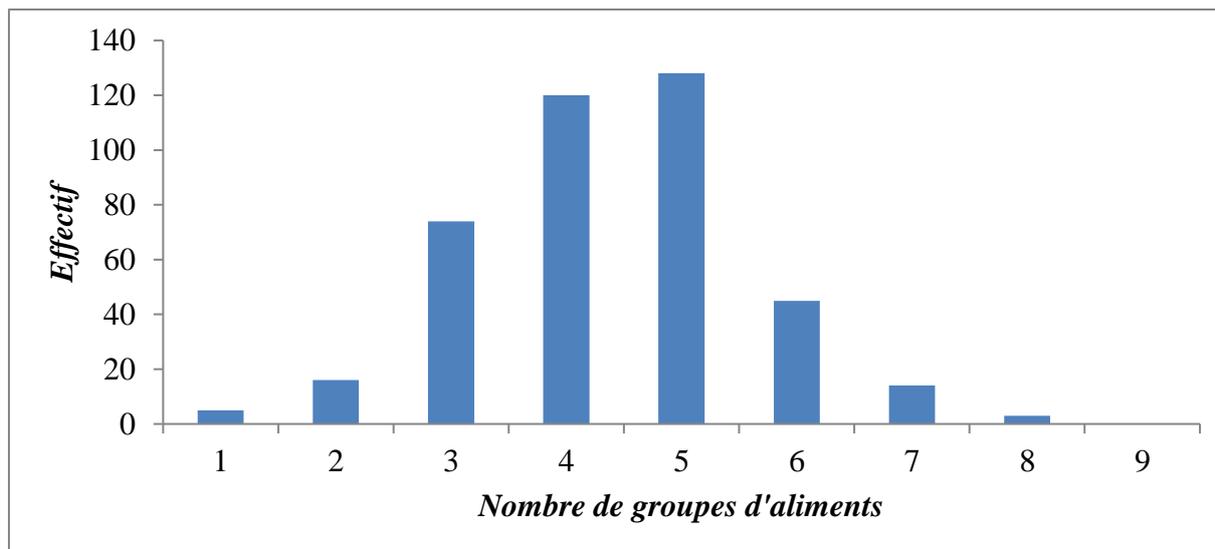


Figure 34: Distribution du Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI)

Tableau X : Profils alimentaires des populations étudiées

NIVEAUX DE SCORE	PROPORTIONS DE LA POPULATION	PROFILS ALIMENTAIRES
Score de Diversité alimentaire faible (< 4)	23,46 %	Céréales, huiles et graisses, épices, condiments, boissons.
Score de Diversité alimentaire moyenne (= 4)	29,63 %	Céréales, poissons et fruits de mer, huiles et graisses, épices, condiments, boissons.
Score de Diversité alimentaire élevé (> 4)	46,91%	Céréales, Racines et tubercules, autres légumes, poissons et fruits de mer, huiles et graisses, sucreries, épices, condiments, boissons.

Tableau XI : SDAI par chefs-lieux de districts

Chefs-lieux de districts	Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI)
Korhogo	3,43 ± 1,24 ^a
Man	3,80 ± 1,15 ^a
Abengourou	3,95 ± 1,26 ^a
Yamoussoukro	4,40 ± 1,32 ^b
Daloa	4,45 ± 1,15 ^b
Dabou	4,77 ± 0,94 ^b
Abidjan	5,87 ± 1,13 ^c

Les valeurs en colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Fisher au seuil de 5 %.

Tableau XII : Corrélation entre SDAI et la fréquence de consommation des huiles de palme rouge et raffinée

	Score	Huile rouge	Huile raffinée R1	Huile raffinée R2
Score	1			
Huile rouge	0,07533171	1		
Huile raffinée R1	0,10482589	0,207290789	1	
Huile raffinée R2	0,12744413	0,163934254	0,993255119	1

I.2. Evaluation de la quantité d'huile de palme consommée

I.2.1. Quantités d'huiles de palme rouge et raffinée consommées

La répartition des quantités d'huiles de palme rouge et raffinée consommées est décrite par la **Figure 35**. Les quantités journalières minimales d'huiles de palme rouge et raffinée consommées par la population investiguée étaient comprises dans la fourchette de 0 à 27 g/j. Ces quantités minimales d'huiles de palme rouge et raffinée R1 et R2 étaient consommées respectivement par 76,67 %, 74,17% et 77,17 % de la population. Quant aux quantités maximales, elles variaient de 81 à 112,5 g/j et étaient consommées journalièrement par environ 2 à 4 % de la population enquêtées. Les quantités intermédiaires d'huiles de palme rouge et raffinée consommées quotidiennement par 0,25 à 21,59 % de la population étaient comprises entre 27 et 81 g. En moyenne, les quantités d'huiles de palme rouge et raffinée R1 et R2 consommées par personne et par jour étaient respectivement de 22,07 g, 23,29 g et 21,72 g.

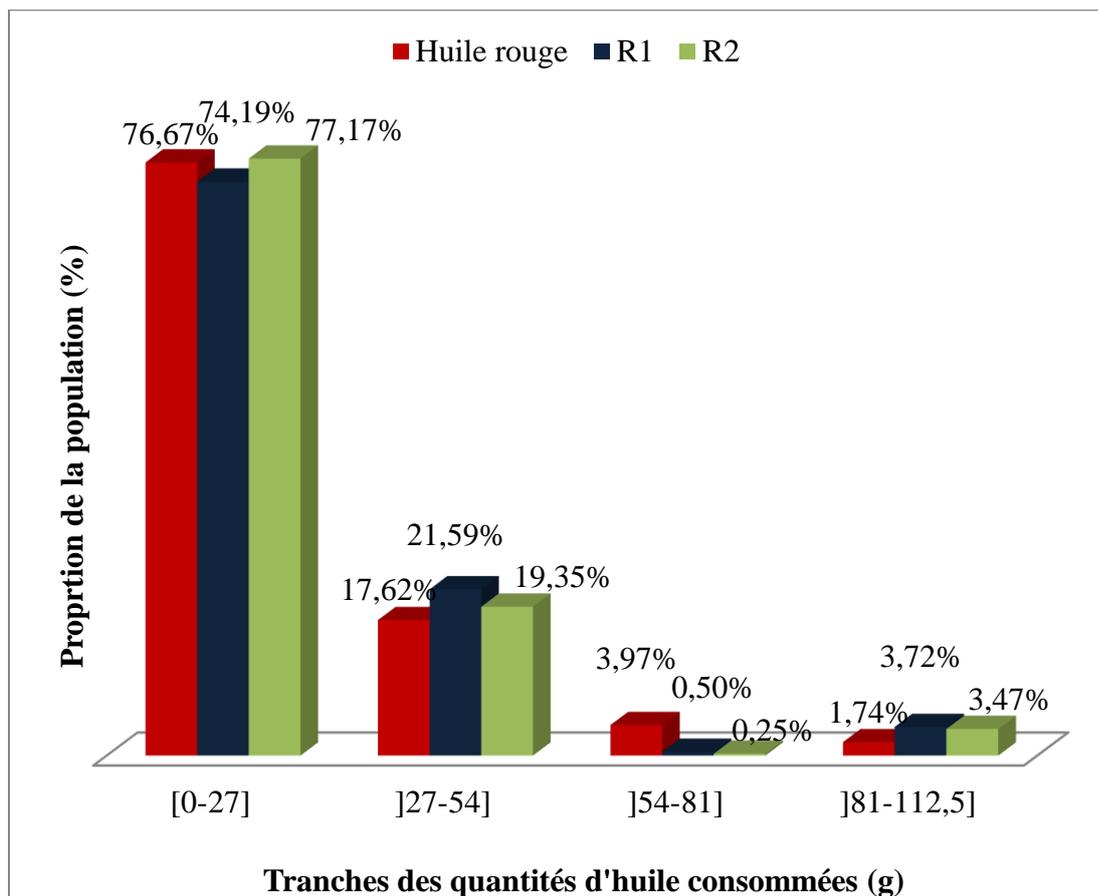


Figure 35: Distribution des quantités d'huiles de palme rouge et raffinée de marque R1 et R2 consommées par jour.

I.2.2. Répartition de la population étudiée selon l'âge et la quantité d'huile de palme consommée

Les tranches d'âge de la population étudiée étaient de 18-28, 29-39, 40-50 et de 51 ans et plus. La tranche d'âge la plus rencontrée était celle comprise entre 18 et 28 ans (50 %). Seulement 2 % de la population investiguée avaient 51 ans et plus (**Figure 36A**).

Les populations ayant les tranches d'âges de 18-28 et 28-39 ans consommaient plus les huiles de palme raffinées R1 et R2 avec des quantités de consommation moyennes variant de 24,19 à 30,69 g par jour. Les quantités d'huile de palme rouge consommées par ces personnes par jour étaient de 14,61 et 20,26 g. Les individus de tranche d'âge de 40 à 50 ans consommaient journalièrement les huiles de palme rouge et raffinée R1 et R2 à des quantités moyennes presque identiques qui étaient respectivement de 23,76, 24,35 et 23,70 g. L'huile de palme rouge était consommée en grande quantité par la population ayant 51 ans et plus (35,3 g). Les huiles de palme raffinées R1 et R2 étaient consommées à des quantités journalières moyennes respectives de 20,8 et 19,8 g par les individus de cette tranche d'âge (**Figure 36 B**).

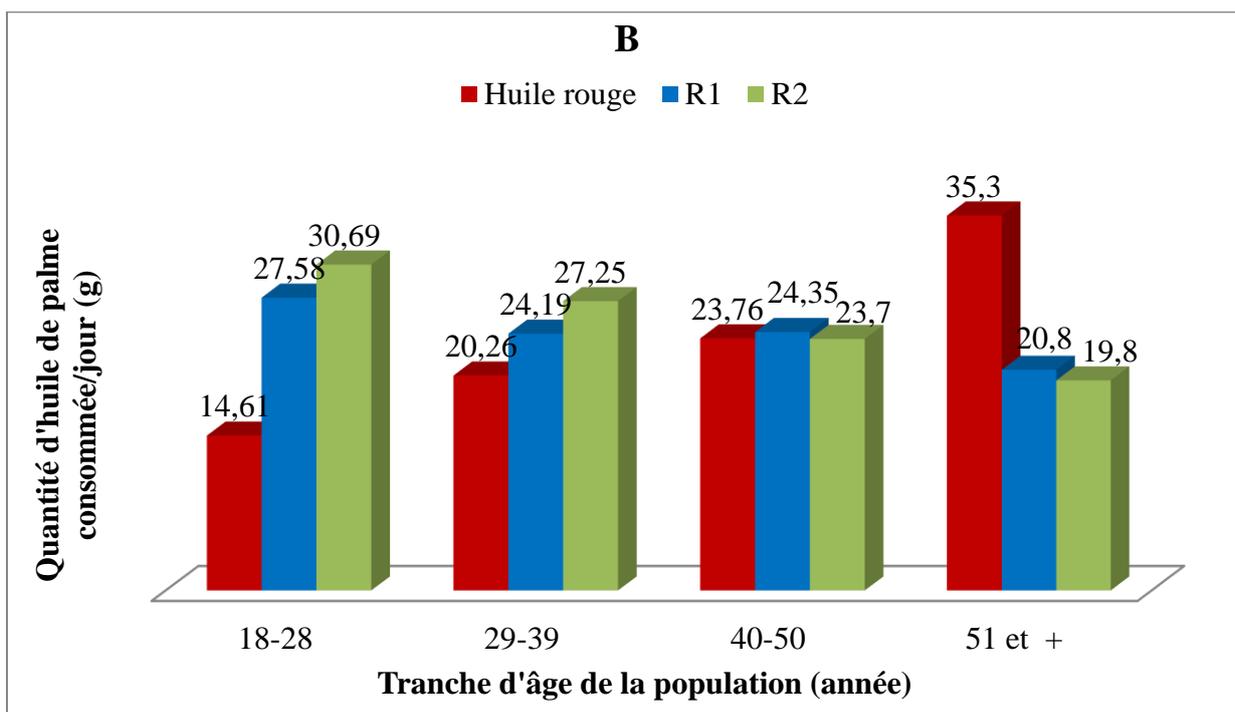
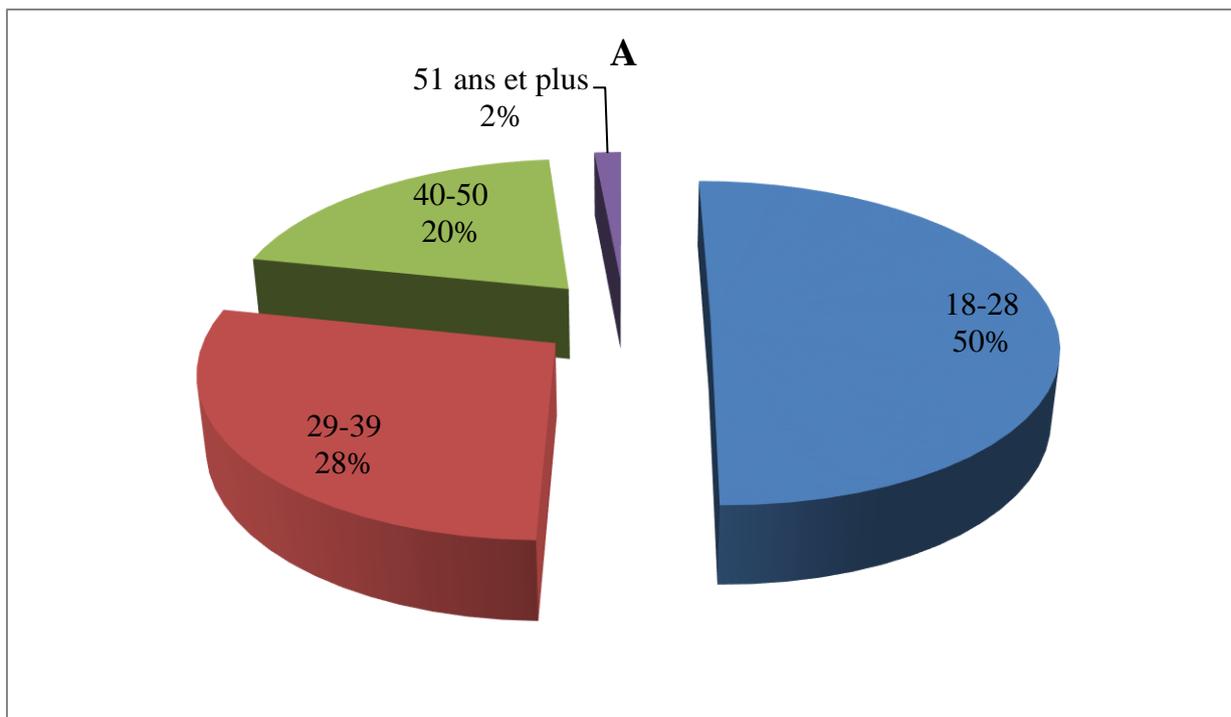


Figure 36 : Répartition de la population étudiée selon l'âge (A) et de la quantité d'huile de palme rouge et raffinée consommées (B)

I.2.3. Répartition de la population étudiée selon les groupes ethniques et la quantité d'huile de palme consommée

La **Figure 37** représente les groupes ethniques et les quantités d'huiles de palme rouge et raffinées consommées. Les différentes ethnies rencontrées au cours de cette investigation étaient : Yacouba, Baoulé, Wobé, Agni, Guéré, Attié, Gouro, Malinké, Bété, Abron, Ebrié, Appolonien, Abbey, Adjoukrou, N'zima, Lobi, Dida. Par ailleurs, des Wolof (Sénégal), Sosso (Guinée), Twi (Ghana), Mossi (Burkina Faso), Bambara (Mali), Ahousa (Niger), Douala (Cameroun), Krou (Libéria) et Goun (Béninois) ont été interrogés. Au total, vingt-six (26) ethnies ont été enquêtées en raison de 17 groupes ethniques autochtones et neuf allogènes (étrangers) (**Figure 37 A**). Dans l'ensemble, la proportion de la population ivoirienne investiguée était de 76,41 %. Le groupe ethnique le plus représenté dans cette enquête est le Malinké représentant 13,78 % de la population totale. Les allogènes interrogés étaient de 23,59 %.

Parmi les autochtones, l'huile de palme rouge était plus consommée par les Yacouba, Wobé, Guéré, Attié et Adjoukrou avec des quantités de consommation moyennes comprises entre 28 et 58,73 g par jour. Les Sosso (Guinée), Mossi (Burkina Faso) et Krou (Bénin) consommaient plus l'huile de palme rouge parmi les allogènes avec des quantités journalières variant de 30 à 73,75 g. Les huiles de palme raffinées R1 et R2 étaient consommées par la majorité des ethnies enquêtées à des quantités moyennes de 10 à 50 g par jour (**Figure 37 B**).

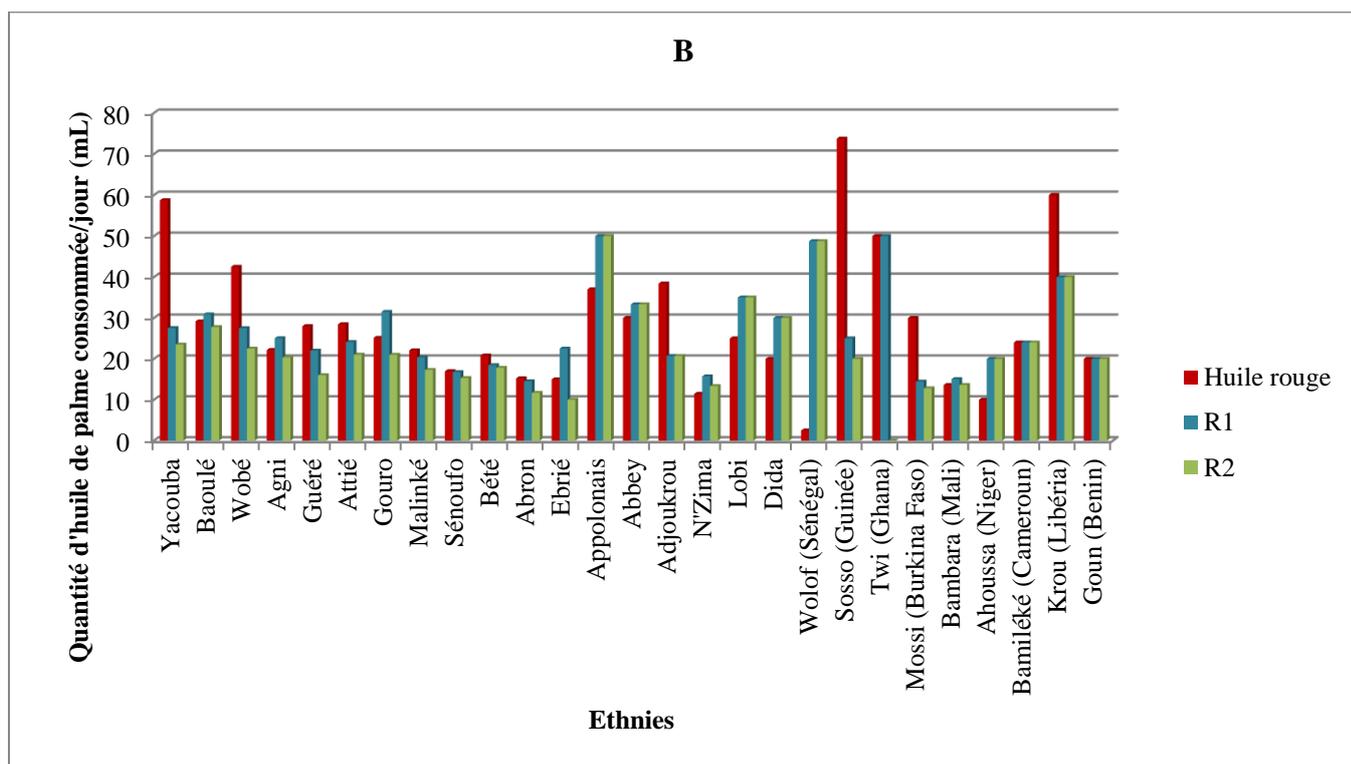
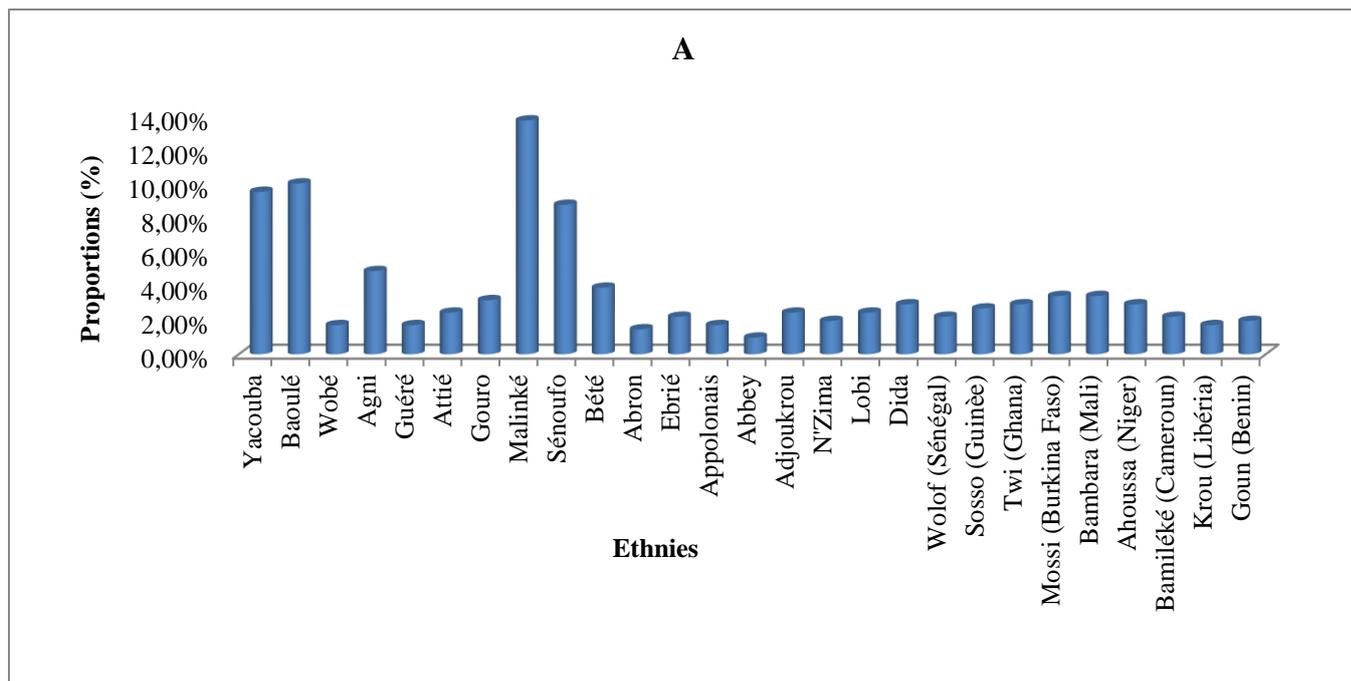


Figure 37: Répartition des ethnies enquêtées (A) et leur quantité d'huile de palme rouge et raffinée (R1, R2) consommées (B).

I.2.4. Répartition de la population enquêtée en fonction du niveau d'étude et de la quantité d'huile de palme consommée

L'analyse du niveau scolaire des populations investiguées indique qu'une proportion de 36,69 % de la population enquêtée était analphabète, 33,49 % avaient le niveau universitaire et ceux qui avaient arrêté les études au primaire et au secondaire étaient respectivement de 15,02 % et de 14,77 % (**Tableau XIII**). La proportion de la population non scolarisée consommait en moyenne 27,26 g d'huile de palme rouge par jour et les huiles de palme raffinée R1 et R2 à des quantités moyennes de 23,58 et 21,69 g par jour. La population ayant un niveau primaire consommait en moyenne 21,34, 23,31 et 24,16 g d'huile de palme rouge et raffinée R1 et R2 par jour. Les individus de niveaux secondaire et universitaire consommaient les huiles de palme rouges et raffinée à des quantités moyennes variant de 19,66 à 24,60 g par jour (**Figure 38**).

Tableau XIII : Répartition de la population investiguée selon le niveau scolaire

Niveaux d'étude	Non scolarisé	Primaire	Secondaire	Universitaire
Proportions (%)	36,69%	15,02%	14,77%	33,49%

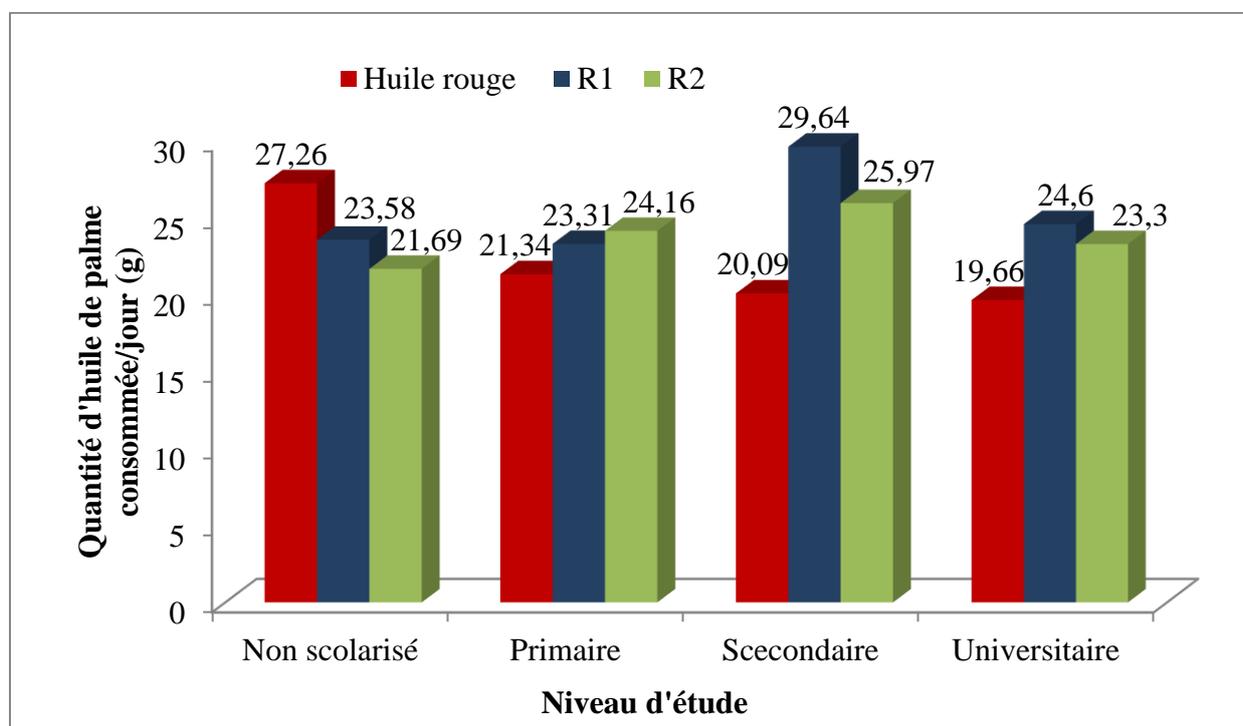


Figure 38: Répartition de la population enquêtée en fonction du niveau d'étude et de la quantité d'huile de palme consommée

I.3. Zones d’approvisionnement en huile de palme rouge et durée de conservation et de commercialisation des huiles de palme

Les zones d’approvisionnement en huile de palme rouge énumérées par les commerçantes interrogées sont : Bonoua, Dabou, Daloa, Danané, Kononfla, Man, Odiénné et Soubré. Le temps d’écoulement de l’huile de palme rouge par les commerçantes était d’un jour pour les grossistes. La période de commercialisation des huiles de palme rouge et raffinée variait d’un jour à quatre semaines chez les commerçants et commerçantes mini-grossistes ou détaillants. Les huiles de palme rouge et raffinée étaient conservées soit une journée ou près de quatre semaines par les consommateurs. Le temps maximal de conservation et de commercialisation des huiles de palme rouge et raffinée était de quatre semaines (**Tableau XIV**).

Tableau XIV : Durée de conservation et de commercialisation des huiles de palme rouge et raffinée

Zone d’étude	Durée de commercialisation des huiles de palme	Temps de conservation des huiles de palme par les consommateurs
Abidjan	1-4 semaines	1 jour-4 semaines
Abengourou	1 jour-4 semaines	1 jour-4 semaines
Dabou	1 jour-3 semaines	1 jour-4 semaines
Daloa	1 jour-4 semaines	1 jour-4 semaines
Korhogo	2-4 semaines	1 jour-4 semaines
Man	1 jour-2 semaines	1 jour-4 semaines
Yamoussoukro	7 jours-4 semaines	1 jour-4 semaines

II. DISCUSSION

Les enquêtes alimentaires ont révélées que les groupes d'aliments les plus consommés en moyenne par cette population étaient les épices, les condiments, les boissons (100 %); les poissons et les fruits de mer (93,95 %), les huiles et les graisses (93,83 %), les céréales (89,97 %), les racines et les tubercules blancs (87,27 %), et les autres légumes (54,07 %). En fait, les céréales, les racines et les tubercules, étaient les principales cultures alimentaires destinées à la consommation humaine (**Sanginga et Mbabu, 2015**).

Puis, les légumes tels que l'aubergine, la tomate, l'oignon et ceux disponibles localement ainsi que les épices et les condiments étaient généralement utilisés comme ingrédient dans la réalisation des sauces pour l'accompagnement des aliments de base. Ce profil de consommation alimentaire semble être identique à celui des femmes de la commune de Toubacoro au Mali. Celles-ci consommaient 100 % de céréales, les autres légumes à 47,10 % et 99,70 % d'épices et condiments mais elles consommaient très peu de racines et tubercules (8,5 %) (**Anonyme 7, 2015**). Ces similitudes alimentaires seraient dues aux brassages de peuples et de cultures dans la sous-région Ouest-Africaine. Cette modification des habitudes alimentaires par brassage culturel a été observée avec les immigrants Ouest-Africains de Montréal qui ont adopté les habitudes alimentaires de la culture dominante en délaissant certaines de leur habitudes alimentaires d'origine (**Satia-Abouta et al., 2001**).

Également, le profil de consommation de ces populations serait dû à la disponibilité et à l'accessibilité aux différents groupes d'aliments. Car, la politique de l'alimentation prend d'une part en compte la production et d'autre part l'accès des populations aux aliments (**Ambagna et Dury, 2016**). Par ailleurs, les poissons et les fruits de mer représentent la première source de protéines animale de ces populations enquêtées. En effet, ces animaux aquatiques surtout les poissons sont faciles d'accès et disponibles à toutes les bourses. Cette consommation remarquable de poissons était également mise en évidence dans le résultat des enquêtes réalisées par l'Ocean World Academy of Japan (OWAJ) en 2016, qui soulignait que la consommation de produits halieutiques par personne en Côte d'Ivoire est en augmentation constante chaque année (**Shiraishi et al., 2016**).

Cette alimentation est généralement accompagnée d'huile et de graisse (origine animale et végétale). L'importance des épices, condiments, poissons, fruits de mer, des huiles et graisses par rapport aux céréales, racines, tubercules et les fruitiers tels que les bananes plantains c'est-à-dire les aliments de base, est due à l'assemblage des différents groupes d'aliments au cours

de la confection des mets. En fait, les épices, les condiments, les poissons, les fruits de mer, les huiles et les graisses ainsi que les légumes, entrent dans la composition de toutes les sauces utilisées comme accompagnements des aliments de base. De même, les huiles et les graisses surtout les huiles, sont utilisées dans la cuisson de tous les aliments frits. L'appréciation des fréquences de consommations des différents groupes d'aliments par Analyse en Composante Principale (ACP), décrit de bonnes corrélations entre certains groupes d'aliments.

La corrélation existante entre les groupes d'aliments du premier sous-ensemble (S1) indique qu'ils sont utilisés pour la confection de plats à base de banane plantain et de pâte (aubergines broyées et mêlées) ou de foutou de banane plantain et de sauce légume (Aubergine, gombo) qui sont des repas généralement consommés par les populations en Côte d'Ivoire. Les groupes d'aliments composés de céréales, légumineuses, noix, graines et viande sont les constituants du deuxième sous-ensemble (S2). Ils sont utilisés pour la préparation de repas à base de riz avec la sauce graine (graine du palmier à huile) ou la sauce arachide plus de la viande comme source de protéines.

Le troisième sous-ensemble (S3), constitués de sucreries et du lait et produits laitiers représentant des repas pris souvent dans les kiosques à café. Les groupes d'aliments du quatrième sous-ensemble (S4) souligne que les racines, tubercules, les fruits riches en vitamine A et les abats sont des ingrédients utilisés ensemble pour la confection des mets à base de racines et tubercules grillés, frits ou cuits à la vapeur accompagnés des abats et des fruits.

De plus, la projection des individus des différentes zones étudiées en fonction des fréquences de consommation journalière des groupes d'aliments par la population a permis de distinguer trois groupes. Le premier groupe est constitué d'individus vivants à Abengourou et de Daloa. Ce groupe est caractérisé par leur consommation marquée des groupes d'aliments V3 (autres légumes), V6 (autres fruits) et V13 (épices, condiments, boissons). Ces populations consomment plus les autres fruits dont la banane plantain. Ce premier groupe consomme également plus les autres légumes aussi bien que les épices, condiments et boissons. Le second groupe est constitué de personnes vivant à Man, Dabou et Yamoussoukro. Ils sont définies par une alimentation riche en : racines et tubercules; fruits riches en vitamine A et abats. Le troisième groupe est composé par les populations provenant des districts d'Abidjan et de Korhogo. Ces populations consomment plus les céréales, la viande et les légumineuses. Les groupes d'aliments tels que légumes verts foncés, légumes et tubercules riches en vitamine A et les huiles et graisses ne permettent pas d'observer une variabilité entre les différentes zones

étudiées. En effet, la fréquence d'utilisation journalière de ces trois (3) groupes d'aliments dans la confection des mets est quasi similaire au sein des populations enquêtées.

Aussi, les céréales, les racines, les tubercules et la banane plantain constituent les principaux aliments de base consommés par ces populations enquêtées. Ils représentent leur première source d'aliments énergétiques. De façon spécifique, la projection des zones étudiées en fonction de leur consommation des aliments de base a permis d'identifier les aliments de base plus consommés par les populations de chaque zone d'étude. Ainsi, le premier groupe décrit le mode de consommation des aliments de base à Korhogo. Les produits céréaliers tels que le maïs, le riz et le mil constituent la source privilégiée d'énergie de ces populations. Ensuite, le deuxième groupe relate le mode de consommation des aliments de base à Abengourou. Cette population est caractérisée par la consommation plus élevée de la banane plantain et de l'igname. Puis, les localités du troisième groupe que sont : Abidjan, Daloa, Dabou, Korhogo, Man et Yamoussoukro sont caractérisées par une alimentation où le manioc et le blé sont plus représentés.

Selon **Ruf (2010)**, la consommation des aliments de base en Côte d'Ivoire était répartie par région; le centre avait un système alimentaire privilégiant l'igname, le Nord et l'Ouest favorisaient plus la consommation du maïs et du riz. Les résultats obtenus à partir de la classification hiérarchique des aliments de base nous indiquent que les populations du Nord, conservent toujours leur alimentation plus orientée vers les céréales (riz, maïs, mil). Egalement, le peuple de l'Est (district d'Abengourou), qui consommait autrefois plus les racines (igname) (**Dubresson, 1989**) reste toujours attaché à leur coutume alimentaire qui est la consommation plus accentuée de l'igname et des fruitiers (banane plantain). Cependant, les populations de l'Ouest, du Sud et du Centre ont des profils alimentaires différents de leurs alimentations décrites dans le passé. Ils consomment majoritairement, le manioc et le blé (pain).

Par conséquent, le profil de consommation des aliments de base semble être le même dans la plupart des régions de la Côte d'Ivoire étant donné que, cinq zones sur les sept investiguées, présentent des similitudes dans le mode de consommation des différents aliments de base. Les apports énergétiques des différents aliments de base étudiés permettent la couverture d'environ 15,24 % à 99,28 % des besoins énergétiques pour un adulte dépensant au moins 2000 Kcal par jour. Selon **Guy-Grand (2017)** le besoin énergétique est de 2100 Kcal/j pour les femmes et 2600 Kcal/j pour les hommes. Mais en région tempérée et avec une activité physique moyenne, ces valeurs peuvent se révéler inférieures ou supérieures aux besoins de certains individus.

Ainsi, les hydrates de carbone étudiés conviendraient pour les populations ayant des activités physiques intenses surtout pour les consommations moyennes de riz, igname et du maïs.

Par contre, ceux exerçant des activités physiques modérées ou qui vivent dans la sédentarité, les apports énergétiques des quantités moyennes de la banane plantain, du manioc, mil et pain sont jugés acceptables pour leur équilibre nutritionnel. En tenant compte des fréquences de consommation journalière de ces aliments, le riz est le plus consommé. Près de 34 % des individus interrogés consomment au moins une fois le riz par jour. En effet, la disponibilité de certains aliments de base tels la banane plantain et l'igname, est fonction de plusieurs facteurs. La production de ces aliments dépend des paramètres tels que la saison, le climat, la qualité et la disponibilité des sols cultivables.

De même, ces denrées alimentaires sont périssables et l'on dispose de peu de moyen pour leur conservation. Ainsi, le riz qui est un aliment énergétique disponible à toute saison, est de plus en plus utilisé comme substitut des aliments de base préférentiel dans plusieurs régions de la Côte d'Ivoire. L'apport énergétique de la quantité moyenne de cet aliment (riz) avoisine 99,28 % de la dépense moyenne en calories d'un individu (2000 Kcal). Cet apport excessif est l'une des causes de l'accumulation des composés glucidiques. Ceci pourrait entraîner certaines maladies chroniques telles que l'obésité, l'hyperlipidémie, le diabète de type 2 et l'hypertension artérielle dont les cas ne cessent de croître en Côte d'Ivoire (**N'Dri-Yoman, 2014**).

Par ailleurs, la répartition des populations en fonction du sexe montre que 56 % des personnes enquêtées sont des femmes et 44 % des hommes. Il y a eu plus de femmes que d'hommes car d'une part, les informations provenant de certains hommes rencontrés étaient incomplètes et n'ont pas été prises en compte dans le traitement des résultats. D'autre part, il s'agit d'une étude exigeant la description des différents composants d'un met. Généralement, les mets sont confectionnés par les femmes et elles sont plus qualifiées pour la description des ingrédients utilisés. Dans l'ensemble, plus de 80 % d'hommes et de femmes ont consommé les huiles et graisses les 24 heures précédant les investigations. En effet, dans cette population étudiée, la fréquence journalière de consommation du groupe d'aliment « huiles et graisses » est presque identique aussi bien chez les hommes que chez les femmes. Par ailleurs, l'analyse selon la situation matrimoniale révèle que les personnes enquêtées sont dans l'ensemble des célibataires (48 %) ou des concubins (34 %). Environ 18 % de ces personnes sont mariées.

Ce taux élevé de célibataires pourrait engendrer une alimentation peu diversifiée et une consommation accrue de l'alcool car selon **De Saint Pol (2008)**, les personnes célibataires achètent moins de fruits et de légumes, mais préfèrent en revanche plus de viande et d'alcools. Également, près de 90 % des personnes vivant seules ont consommées les huiles et graisses en 24 heures. Ces individus privilégient souvent l'achat des aliments demandant peu de préparation avant la consommation tels que les aliments frits qui subissent généralement un processus de cuisson rapide (**De Saint Pol, 2009; Courtois et al., 2012**).

En outre, l'analyse des différentes fréquences de consommation des huiles de palme rouge et raffinée désigne l'huile de palme rouge comme étant moins fréquente dans l'alimentation des populations enquêtées. En effet, la fréquence journalière n'est que de 7,43 %. Cette fréquence journalière de consommation de l'huile de palme rouge est inférieure à celle observée au Congo qui est de 11,4 % (**Moutoula et al., 2016**). La fréquence de consommation de l'huile de palme rouge la plus représentée dans la population enquêtée est celle d'au moins une fois par mois qui est 49,26 %. Cette fréquence de consommation mensuelle de l'huile de palme rouge se rapproche de celle observée à Yaoundé (Cameroun) avec une fréquence de consommation d'environ 44 % par mois (**Rébéna, 2016**).

Cependant, ce rythme de consommation de l'huile de palme rouge par les populations étudiées et celles de Yaoundé semblent être plus faibles que celui observé chez les enfants âgés de 6 à 36 mois au Bénin. Près de 70% de ces enfants consomment l'huile de palme rouge au moins une fois par semaine (**Houngpatin, 2011**). Selon **Cheyns (2001)**, l'huile de palme raffinée s'est substituée à l'huile de palme rouge dans la confection de certains plats tels que la cuisson du riz, les fritures et les grillades en Côte d'Ivoire. Cette substitution pourrait s'expliquer par le phénomène de la transition nutritionnelle en Côte d'Ivoire, caractérisée par l'adoption de nouveaux régimes alimentaires de type occidental. Ce nouveau comportement alimentaire a engendré le développement du système de restauration rapide au détriment d'une alimentation traditionnelle (**PNN, 2015**). En effet, l'huile de palme rouge est une excellente source de vitamines A et E (**Morin et Pagès-Xatart-Parès, 2012; Sen et Roy, 2006**). Une consommation régulière de cette huile permet de couvrir les besoins nutritionnels des consommateurs notamment en vitamines A et E. Par ailleurs, les huiles raffinées de marque R1 et R2 sont les plus présentes dans les mets de cette population enquêtée. Ces personnes consomment de façon journalière les huiles de palme raffinées de marque R1 et R2 respectivement à 85,40 % et 77,72 %.

Cette fréquence journalière de consommation de l'huile de palme raffinée en Côte d'Ivoire est à l'image de la demande mondiale puisque selon **Guillaume-Gentil et al. (2016)** l'huile de palme est l'huile végétale la plus produite et la plus consommée au monde sur ces dix dernières années (**Guillaume-Gentil et al., 2016**). De même, c'est l'huile alimentaire la moins chère au monde (**Jacquemard, 2012**) donc accessible à toutes les bourses. Également, l'huile de palme raffinée est la plus utilisée pour la friture des aliments en Côte d'Ivoire (**Cheyns, 2001**). La description des tranches d'âge des individus interrogés a révélé que la tranche d'âge la plus rencontrée dans la population investiguée est celle comprise entre 18 et 28 ans. Environ 50 % de cette population est constituée de jeunes. Cette forte proportion de jeunes s'explique par le fait qu'en Côte d'Ivoire, plus de 79,34 % de la population a moins de 35 ans (**Kouakou et Adébo, 2015**). Ces jeunes consomment par individu près de 27,58 à 30,62 g d'huile de palme raffinée par jour.

Par contre, les personnes ayant plus de 50 ans, privilégient l'huile de palme rouge. Cette préférence observée au niveau du type d'huile de palme consommée en fonction de l'âge se rapproche de celle remarquée à Yaoundé au Cameroun. En effet, les travaux réalisés par **Rébéna (2016)**, soulignaient que les plus importants consommateurs d'huiles étaient les jeunes âgés de 19 à 30 ans. Mais, les personnes ayant plus de 46 ans consommaient plus l'huile de palme rouge. Cela pourrait s'expliquer par le fait que, les personnes âgées affectionnent les plats traditionnels cuisinés avec l'huile de palme rouge. Mais, les plus jeunes s'adonnent de plus en plus à la consommation des aliments frits ou aux grillades généralement réalisés avec les huiles de palme raffinées.

La population enquêtée est constituée de 76,41 % d'ivoiriens et de 23,59 % de non-ivoiriens. Cela signifierait que la répartition des différents peuples vivants en Côte d'Ivoire est presque la même dans plusieurs régions. Près de 68 % des ethnies interrogées consomment les huiles de palme raffinées et environ 31 % de cette population consomme l'huile de palme rouge en plus grande quantité par jour.

Le niveau d'étude est relativement élevé au sein de cette population étudiée puisque 33,49 % des personnes interrogées ont effectué des études universitaires. Ce niveau d'étude serait dû au fait que les enquêtes se sont déroulées en milieu urbain. Selon **Caparros et al. (2007)**, les taux de scolarisation sont plus élevés dans les villes que dans les campagnes. En moyenne, les quantités d'huiles de palme rouge consommées par les personnes ayant un niveau secondaire ou universitaire sont plus faibles. Cela pourrait s'expliquer par le fait que, ceux-ci reçoivent des

informations publiées par les médias orientant plus le consommateur vers le choix des huiles de palme raffinées.

Aussi, la distribution des quantités d'huile de palme rouge et raffinée R1 et R2 consommées révèle que celles-ci observent les mêmes variations de quantités ingérées par personne et par jour. Les quantités minimales varient entre 0 et 27 g. Environ 74 à 76 % de la population consomme 0 à 27 g d'huile de palme par jour. Les quantités les moins consommées varient entre 81 et 112,5 g. Environ 2 à 4 % de la population consomment journalièrement 81 à 112,5 g d'huiles de palme rouge et raffinée. En moyenne, les quantités d'huiles de palme rouge et raffinée R1 et R2 consommées par personne et par jour étaient respectivement de 22,07 g, 23,29 g et 21,72 g. Ces quantités moyennes sont un peu plus faibles que celles consommées au Ghana révélées par **Ofosu-Budu et Sarpong (2013)**. Ces auteurs indiquent que chaque individu au Ghana consomme entre 27,40 à 30,14 g d'huile de palme par jour. Comparativement aux travaux effectués par Cheyns en 2001 (**Cheyns, 2001**) sur la consommation de l'huile de palme rouge en Côte d'Ivoire, la quantité moyenne d'huile de palme rouge consommée par personne et par jour a augmentée.

Par contre, celle de l'huile de palme raffinée a baissé. En effet, Cheyns indiquait que les consommations moyennes des huiles de palme rouge et raffinée étaient respectivement de 1,4 et 6 litres/mois par ménage. Ces quantités d'huiles de palme étaient estimées à 7,92 g/j pour l'huile de palme rouge et à 33,96 g/j concernant l'huile de palme raffinée pour un ménage de 5,3 personnes en moyenne. Cette réduction de la quantité d'huile de palme raffinée consommée serait due aux nombreuses directives diététiques. Celles-ci visent la réduction des maladies liées à une alimentation riche en acides gras saturés, notamment l'acide palmitique (**Aranceta et Perez-Rodrigo, 2012; Assmann et al., 2014**).

La description du Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI) révèle que la diversité alimentaire moyenne de l'ensemble des populations investiguées est de $4,38 \pm 1,21$ avec un minimum de 1 et un maximum de 8 groupes d'aliments différents consommés en 24 heures. Cette diversité alimentaire moyenne est plus ou moins identique à celle observée chez les femmes de Toubacoro (commune du Mali) qui était de $4,55 \pm 1,13$ avec un minimum de 2 et un Maximum de 7 groupes d'aliments différents consommés en 24 heures (**Anonyme 7, 2015**). Mais elle diffère de ceux déterminés par **Déré et al. (2016)** qui étaient de $5,6 \pm 1,58$ et de 6 ± 1 respectivement chez des personnes diabétiques et hypertendues. Cette différence pourrait être due à l'état de santé des personnes enquêtées.

En effet, les participants à cette présente investigation étaient en bonne santé apparente. Par contre, ceux interrogés dans l'étude de **Déré et al. (2016)** sont atteints de maladies chroniques. Ceci révèle que la diversité alimentaire individuelle de ces patients a pu être influencée par les conseils médicaux reçus. La subdivision de ce score en tercile, mentionne que 23,46 % de la population a consommé moins de quatre groupes d'aliments différents en 24 heures et ces différents groupes d'aliments représentent le profil alimentaire. Ainsi, le profil alimentaire de cette portion de la population est composé de céréales, des huiles et graisses, des épices, condiments, boissons et présente une diversité alimentaire faible.

La diversité alimentaire moyenne est observée chez 29,63 % des personnes interrogée. Cela signifie qu'elles ont consommé en moyenne quatre groupes d'aliments différents pendant 24 heures c'est-à-dire qu'en plus des céréales, huiles et graisses, épices, condiments et boissons leur profil alimentaire est aussi constitué de poissons et fruits de mer. La diversité alimentaire élevée est remarquée chez 46,91 %. Ces individus enquêtés ont consommé plus de quatre groupes d'aliments différents au cours des 24 heures précédant l'enquête. Ce dernier groupe a un profil alimentaire composé de céréales, racines et tubercules, autres légumes, poissons et fruits de mer, huiles et graisses, sucreries et des épices, condiments, boissons.

En somme, 53,09 % de la population enquêtée expriment une diversité alimentaire non satisfaisante. Ce niveau de diversité alimentaire est plus ou moins identique à celui révélé par **Kouassi et al. (2013)**. Ces auteurs indiquaient que 52,10 % de la population dans les zones urbaines d'Abidjan ont une diversité alimentaire non satisfaisante. Le niveau de diversité alimentaire des populations n'a pas considérablement évolué entre 2013 et 2017. De plus, le profil de consommation alimentaire des populations enquêtées diffère d'une zone d'étude à l'autre. En effet, l'analyse distincte des différents SDAI moyens des populations des 7 chefs-lieux de districts varie de 3,43 à 5,87. Le SDAI le moins élevé est observé à Korhogo (3,43) tandis que la ville d'Abidjan (5,87) en présente le plus élevé. Par ailleurs, l'analyse des variances de SDAI décrit une différence significative entre les SDAI des villes. Cela souligne que la diversité alimentaire diffère d'une zone à l'autre. De même, le test de Fisher permet de regrouper les sept (7) chefs-lieux de district en trois (3) groupes. Le premier groupe, constitué par les villes de Korhogo ($3,43 \pm 1,24$), Man ($3,80 \pm 1,15$) et Abengourou ($3,95 \pm 1,26$) ont les diversités alimentaires individuelles les plus faibles. Daloa ($4,45 \pm 1,15$), Dabou ($4,77 \pm 0,94$) et Yamoussoukro ($4,40 \pm 1,32$) présentent des SDAI intermédiaires.

La diversité alimentaire la plus élevée est observée au près des populations d'Abidjan ($5,87 \pm 1,13$). Les villes présentant les SDAI plus faibles sont situées respectivement au Nord, à l'Est, et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Les individus dans ces zones consomment environ trois (3) groupes d'aliments différents en 24 heures. Ils présentent un régime alimentaire moins diversifié que ceux des autres chefs-lieux de districts. Ce niveau de diversité alimentaire moins élevé pourrait être une des causes des taux les plus élevés de retard de croissance dans ces zones Nord (39 %), Nord-Est (39 %), Nord-Ouest (32 %) et Ouest (34 %) de la Côte d'Ivoire (CNN, 2015). En effet, dans ces zones, les taux de retard de croissance sont supérieurs à 30 %, avec des profils de malnutrition chronique considérés comme sérieux. Cependant, dans la ville d'Abidjan où la population a le niveau de diversité alimentaire le plus élevé, on a une valeur de retard de croissance inférieure à 20 %, donc jugée acceptable selon la classification de l'OMS (CNN, 2015). L'analyse de la corrélation entre les SDAI moyens des populations des zones enquêtées et leur fréquence de consommation des huiles de palme rouge et raffinée mentionne qu'il n'existe pas de relation entre ceux-ci. Ceci atteste que la fréquence journalière de consommation des huiles de palme rouge et raffinée R1 et R2 n'influence pas le SDAI des populations.

III. CONCLUSION PARTIELLE

L'enquête socio-démographique et alimentaire a permis d'identifier certaines caractéristiques alimentaires de la population puis, de déterminer les fréquences et les quantités d'huiles de palme rouge et raffinée consommées par la population. Elle a révélé que la population investiguée est en majorité des jeunes âgés de 18-28 ans, constitués d'autochtones et d'allogènes dont 33,49 % ont effectué des études universitaires. Cette population a une diversité alimentaire individuelle moyenne de 4,38 avec un profil alimentaire composé en moyenne de quatre groupes d'aliments différents. Les groupes d'aliments les plus consommés par cette population étaient les épices, condiments, boissons (100 %); poissons et fruits de mer (93,95 %), huiles et graisses (93,83 %), les céréales (89,97 %), racines et tubercules blancs (87,27 %), et autres légumes (54,07 %).

En outre, les différentes fréquences de consommation des huiles de palme rouge et raffinée désignent l'huile de palme rouge comme étant moins fréquente dans l'alimentation des populations enquêtées avec une fréquence journalière de 7,43 %. Par contre, les huiles de palme raffinées de marque R1 et R2 sont les plus présentes dans les mets de cette population enquêtée avec des fréquences journalières respectives de 85,40 % et 77,72 %. La corrélation entre diversité alimentaire et la fréquence de consommation des huiles de palme rouge et raffinée par zone est comprise entre 7 et 12 %. Ceci confirme que la fréquence de consommation journalière des huiles de palme n'influence pas la diversité alimentaire de la population.

L'huile de palme rouge est en quantité moyenne (35,30 g) plus consommée par les personnes ayant 51 ans et plus. Mais, les individus âgés de 18 à 39 ans consomment plus les huiles de palme raffinées R1 et R2 à des quantités moyennes variant entre 24,19 et 30,69 g. En moyenne, les quantités d'huiles de palme rouge et raffinée consommées sont comprises entre 22 et 23 g par personne par jour.

PARTIE II : CARACTÉRISATION CHIMIQUE DES HUILES ET VARIATION DES TAUX SÉRIQUES DES TRIGLYCÉRIDES, DU CHOLESTÉROL, DES VITAMINES A ET E CHEZ LES RATS

I. RESULTATS

I.1. Détermination du pH, des indices d'acide, de peroxyde et d'iode

Les résultats de la détermination du pH, des indices d'acide, de peroxyde et d'iode sont résumés dans le **tableau XV**. Les valeurs obtenues sont significativement différentes d'un type d'huile à l'autre. Les valeurs du pH des différentes huiles de palme varient de $2,22 \pm 0,16$ à $2,89 \pm 0,20$. L'huile de palme raffinée de marque R2 a le plus faible pH (2,22) et l'huile de tournesol présente le pH le plus élevé (2,29). De même, les indices d'acide sont compris entre 0,21 et 1,23 mg KOH/g d'huile. Les huiles raffinées de marque R1 et R2 ainsi que l'huile de tournesol ont des indices d'acide similaires qui est de $0,21 \pm 0,01$ mg KOH/g d'huile. L'huile de palme rouge étudiée en a la valeur la plus élevée qui est de $1,23 \pm 0,03$ mg KOH/g d'huile.

Les teneurs en peroxydes des huiles raffinées de marque R2 et R1 sont statistiquement identiques. Mais ces taux sont différents de ceux des huiles de tournesol et de palme rouge. Pour ces dernières, les indices de peroxydes sont respectivement de 0,73 meq O₂/Kg et de 1,5 meq O₂/Kg de corps gras.

Les indices d'iode des huiles de palme rouge et raffinées se situent entre $63,93 \pm 0,53$ et $239,77 \pm 0,15$ g d'iode/100 g de corps gras. L'huile de palme rouge a le plus faible indice d'iode ($63,93 \pm 0,53$ g d'iode/100 g de corps gras) ensuite, viennent les indices d'iode des huiles raffinées avec des teneurs de $90,04 \pm 0,52$ et $93,75 \pm 0,23$ respectivement pour les marques R1 et R2. L'huile de tournesol se distingue des huiles de palme avec une valeur très élevée qui est de $239,77 \pm 0,15$ g d'iode/100 g de corps gras.

Tableau XV : Paramètres chimiques des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinées

	Huile de tournesol	Huile de palme rouge	Huile raffinée R1	Huile raffinée R2
pH	2,89 ± 0,27 ^c	2,54 ± 0,16 ^b	2,84 ± 0,14 ^c	2,22 ± 0,16 ^a
Indices d'acide (mg KOH/g d'huile)	0,21 ± 0,01 ^a	1,23 ± 0,03 ^b	0,21 ± 0,01 ^a	0,21 ± 0,01 ^a
Indices de peroxydes (meq O₂/Kg corps gras)	0,73 ± 0,12 ^b	1,5 ± 0,05 ^c	0,26 ± 0,10 ^a	0,27 ± 0,01 ^a
Indices d'iode (g d'iode/100g corps gras)	239,77 ± 0,15 ^c	63,93 ± 0,53 ^a	90,04 ± 0,52 ^b	93,75 ± 0,23 ^b

Les valeurs en ligne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes avec le test LSD Fisher au seuil de 5 %.

I.2. Profil en acide gras

Les teneurs en acides gras saturés (AGS) et insaturés (AGI) des échantillons d'huile de palme rouge et raffinées prélevés dans les différentes zones d'étude sont répertoriées dans le **tableau XVI**. Les teneurs en AGS et en AGI de l'huile de palme rouge, produite de façon artisanale, varient de 41,38 à 54 % (AGS) et de 46,00 à 58,62 % pour les AGI. Aussi, les huiles de palme raffinées de marque R1 et R2, disposent des pourcentages en AGS et en AGI plus ou moins identiques. Leurs teneurs en AGS sont de 41,54 et 41,21 %.

Quant aux teneurs en AGI, elles sont de 58,46 et 58,78 % respectivement pour les huiles raffinées de marque R1 et R2. Par ailleurs, l'acide palmitique qui représente le danger étudié est présent à des teneurs variants entre 32,95 et 48,04 % dans l'huile de palme rouge alimentaire produite de façon artisanale. Ainsi, l'huile de palme rouge de Dabou a la plus forte teneur en acide palmitique avec une valeur de 48,58 %. Par contre, celle de Man en a la plus faible valeur (32,95 %). Les huiles de palme raffinées R1 et R2 contiennent respectivement 35,29 % et 34,98 % d'acide palmitique.

Tableau XVI : Teneur en acide gras des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée

		Huile rouge					Huiles raffinées			
		1	2	3	4	5	6	7	R1	R2
ACIDES GRAS (%)	C14:0 Myristique	0,56	0,57	0,71	0,43	0,76	0,58	0,55	0,54	0,54
	C16:0 Palmitique	34,74	37,04	37,41	34,38	39,66	32,95	48,04	35,29	34,98
	C16:1n-7c Palmitoleique	0,08	0,11	0,1	0,07	0,12	0,07	0,11	0,11	0,12
	C18:0 Stearique	6,97	5,55	6,91	8,18	5,15	7,39	5,02	5,24	5,22
	C18:1n-9c Oleique	49,05	45,21	45,25	46,57	41,3	50,58	35,41	48,09	48,28
	C18:1n-7c vacenique	0,48	0,41	0,51	0,42	0,66	0,5	0,65	0,65	0,67
	C18:2n-6c Linoleate	7,38	10,4	8,36	9,08	11,56	7,19	9,55	9,61	9,72
	C18:3n-3 α -Linolenique	0,31	0,28	0,31	0,41	0,31	0,28	0,28	-	-
	C20:0 Arachidique	0,43	0,43	0,44	0,45	0,48	0,46	0,39	0,47	0,47
ACIDES GRAS TOTAUX (%)	AGS	42,70	43,59	45,47	43,44	46,05	41,38	54,00	41,54	41,21
	AGI	57,30	56,41	54,53	56,55	53,95	58,62	46,00	58,46	58,78

1: Abidjan

2: Daloa

3: Korhogo

4: Yamoussoukro

5: Abengourou

6: Man

7: Dabou

I.3. Teneur en provitamine A et en vitamine E des huiles de palme rouge et raffinée

Les teneurs en provitamine A et vitamine E des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée prélevés dans les zones d'étude sont résumés dans le **tableau XVII**. Les teneurs en vitamine E des huiles de palme rouge et raffinées varient entre 0,88 et 70,71 %. Les α -tocophérol, α -tocotriénol et γ -tocotriénol sont les plus abondants dans ces huiles. Les huiles de palme rouge de la région de Man disposent des teneurs les plus élevées en α -tocotriénol (46,78 %) et en γ -tocotriénol (70,71 %) alors que, celles de Yamoussoukro contiennent plus d' α -tocophérol (34,45 %). Les huiles de palme raffinées de marque R2 contiennent plus d' α -tocophérol (23,90 %), d' α -tocotriénol (31,80 %) et de γ -tocotriénol que celles de marque R1. Cependant, toutes ces huiles analysées ont moins de 10 % de γ -tocophérol et de δ -tocotriénol. Les huiles qui en ont les teneurs les plus élevées sont celles de Korhogo (2,21 %) et de Man (8,58 %) respectivement en γ -tocophérol et en δ -tocotriénol.

Par ailleurs, les teneurs en provitamine A estimées en équivalent-rétinol des huiles de palme rouge et raffinées sont comprises entre 7,68 et 150,01 mg ER/Kg. Les échantillons d'huiles de palme rouge de Man ont les taux les plus élevés en équivalent-rétinol (150,01 mg ER/Kg) et ceux de Korhogo en ont les teneurs les plus faibles (7,68 mg ER/Kg). Les huiles de palme raffinées R2 et R1 contiennent respectivement 12,34 et 13,23 mg ER/Kg.

Dans l'ensemble, les échantillons d'huiles de palme rouge analysés ont les teneurs les plus élevées en provitamine A, en α - et γ -tocophérol, en α -, γ - et δ -tocotriénol. Ainsi, l'huile de palme rouge a été utilisée pour l'étude de la variation des taux sériques des triglycérides, du cholestérol, des vitamines A et E chez des rats.

Tableau XVII : Teneur en provitamine A et en vitamine E des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée

		Huiles rouges							Huiles raffinées	
		1	2	3	4	5	6	7	R1	R2
Vitamine E (%)	α -tocophérol	22,8	4,77	10,18	34,45	24,28	30,56	10,16	22,27	23,9
	γ -tocophérol	0,88	0,89	2,21	1,82	0,96	1,90	1,27	1,15	1,27
	α -tocotriénol	31,23	2,48	21,75	35,15	28,93	46,78	16,32	25,35	31,80
	γ -tocotriénol	38,18	22,56	30,23	30,99	39,14	70,71	37,02	34,83	38,20
	δ -tocotriénol	4,15	5,65	8,43	5,2	4,14	8,59	7,25	4,99	4,77
Vitamine A	Retinol	16,50	17,21	7,68	20,00	9,80	150,01	36,50	13,23	12,34
	mg ER/kg									

1: Abidjan

2: Daloa

3: Korhogo

4: Yamoussoukro

5: Abengourou

6: Man

7: Dabou

I.4. Variation des taux sériques des triglycérides, du cholestérol, des vitamines A et E chez des rats ayant ingéré de l'huile de palme rouge

I.4.1. Variation des taux sériques des triglycérides, cholestérols total, HDL et LDL chez des rats

Les variations des taux de triglycérides, cholestérols total, HDL et LDL chez les rats durant 12 heures de digestion de l'huile de palme rouge sont présentées par la **figure 39**. Les résultats montrent que le taux sérique de triglycérides augmente progressivement de la première à la neuvième heure après le gavage des rats (0,17 à 10,41 g/L). A partir de la neuvième heure de digestion de l'huile, le taux sérique de triglycérides diminue de 10,41 à 9,77 g/L.

Le taux de cholestérol total augmente progressivement avec le temps de digestion de la première à la sixième heure après le gavage des rats (0,12-1,30 g/L) puis, diminue de 1,28 à 0,76 g/L entre la sixième et la huitième heure. Ensuite, cette concentration de cholestérol sérique double à la neuvième heure de digestion (1,46 g/L) et se stabilise autour de 1,5 g/L.

De la première à la huitième heure de digestion, les taux sériques des cholestérols HDL et LDL sont quasi identiques avec des concentrations comprises entre 0,007 et 0,20 g/L. Le taux de cholestérol HDL demeure constant jusqu'à la 12^{ème} heure de l'expérience. Mais celui du cholestérol LDL augmente et avoisine la teneur en cholestérol total de la neuvième à la 12^{ème} heure de digestion avec des valeurs comprises entre 1,46 et 1,71 g/L.

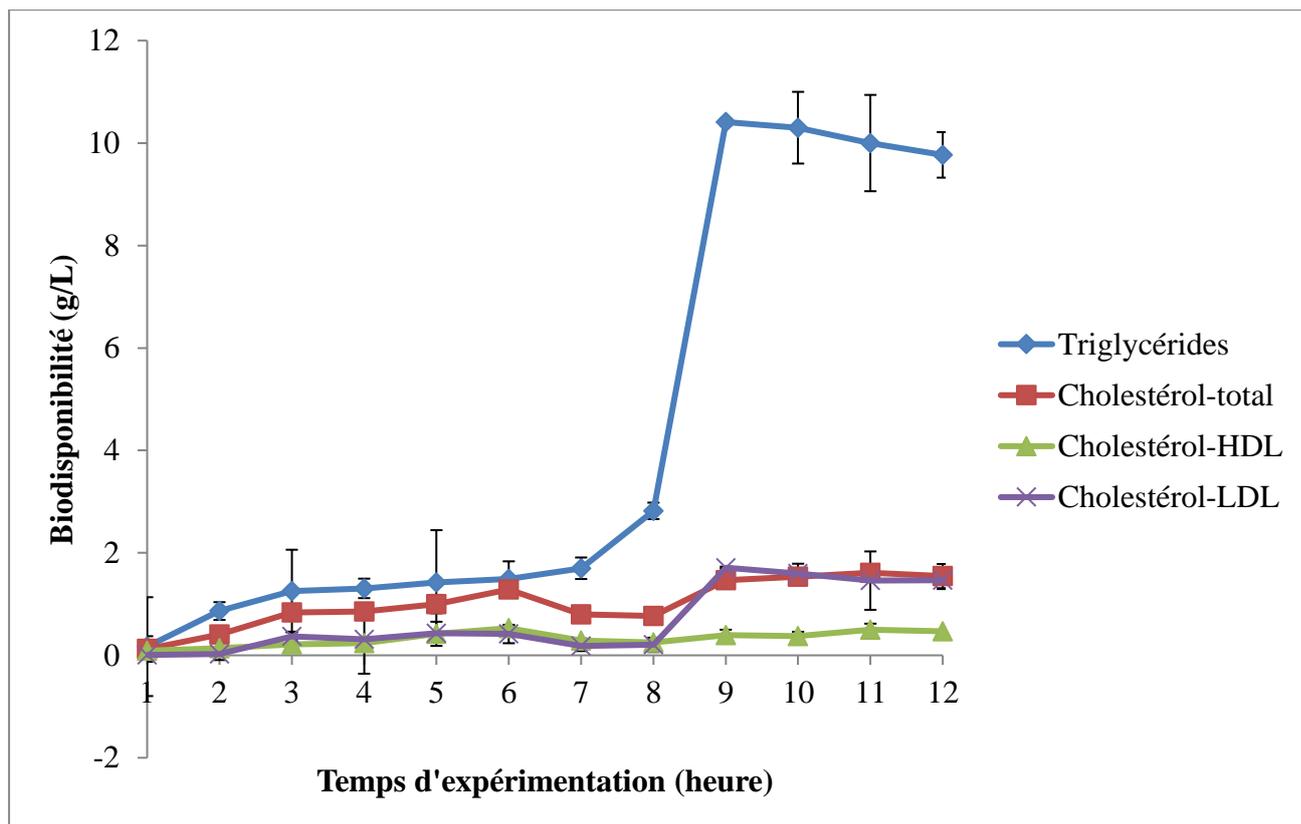


Figure 39: Variation de la biodisponibilité des triglycérides, cholestérols total, HDL et LDL chez les rats

I.4.2. Variation des taux de vitamines A et E dans les organes (foie et cœur) et le sérum des rats

Les variations des teneurs en vitamine E dans les différents organes des rats après digestion de l'huile de palme rouge pendant 12 heures sont décrites par la **figure 40 A**. La biodisponibilité de la vitamine E varie en fonction du temps de digestion et des organes étudiés. Celle-ci se situe entre 0 et 53,90 % de la première à la 12^{ème} heure de l'expérimentation. Une heure après le gavage, le sérum présente la plus forte concentration en vitamine E avec une quantité de 10,83 %. Mais le foie en a la plus faible concentration qui est de 0 %. La réponse postprandiale indique que le taux de vitamine E augmente relativement dans les différents organes avec la durée de digestion. Les teneurs maximales dans le foie (48,94 %) et le sérum (53,90 %) sont atteintes six heures après le gavage des rats. Ces concentrations dans le foie et le sérum diminuent respectivement à 0,1 % et 19,03 % à la 12^{ème} heure. Le taux de vitamine E dans le cœur est de 1,52 % à la première heure de la digestion. Ce taux augmente de la deuxième à septième heure de digestion (5,03 à 8,17 %). De la huitième à la 12^{ème} heure, le taux de vitamine E oscille autour de 7 et 9 % dans le coeur. La quantité maximale de vitamine A est observée au niveau du foie autour de quatre heures de digestion avec une teneur de 27,32 %.

Dans le sérum, la quantité de vitamine A diminue de la première à la troisième heure de la digestion (1,53 à 0,08 %). A partir de la troisième heure de digestion, le taux de vitamine A est quasi constante dans le sérum avec une teneur d'environ 0,1 %. Le cœur présente un taux régulier d'environ 0,1 % en vitamine A, de la première à la 12^{ème} heure de digestion (**Figure 40 B**).

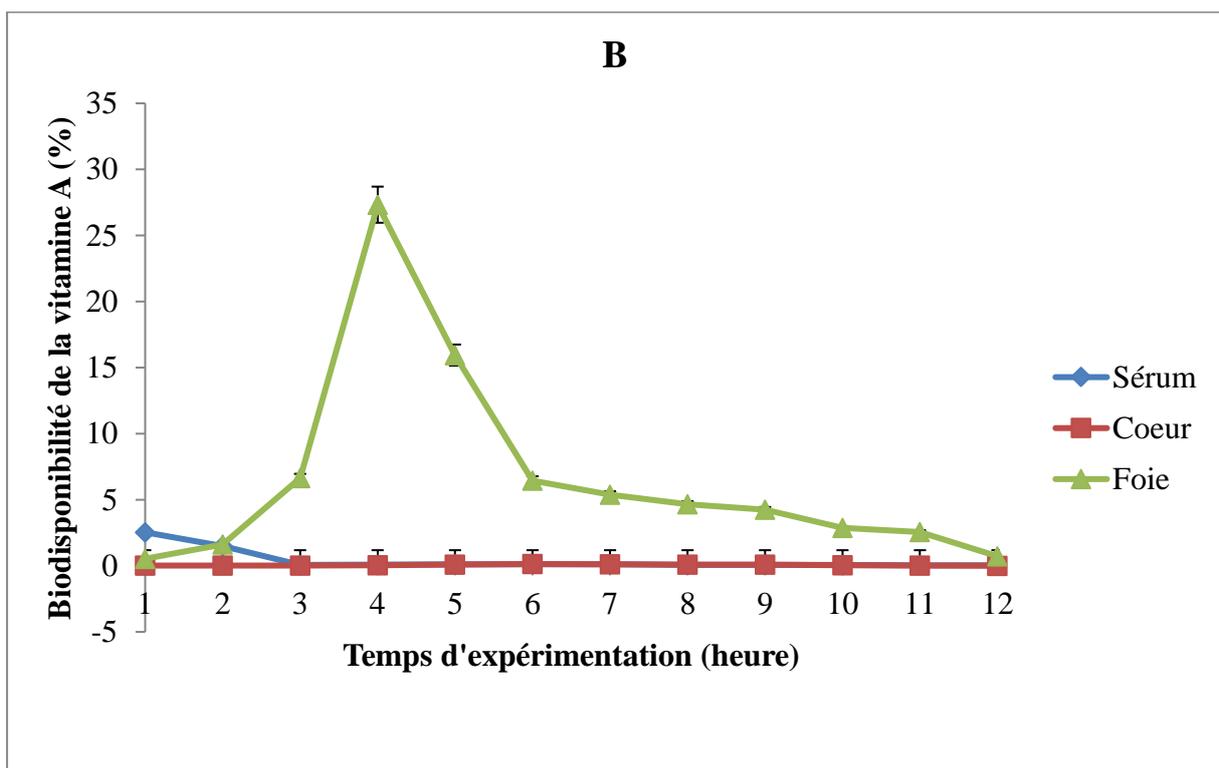
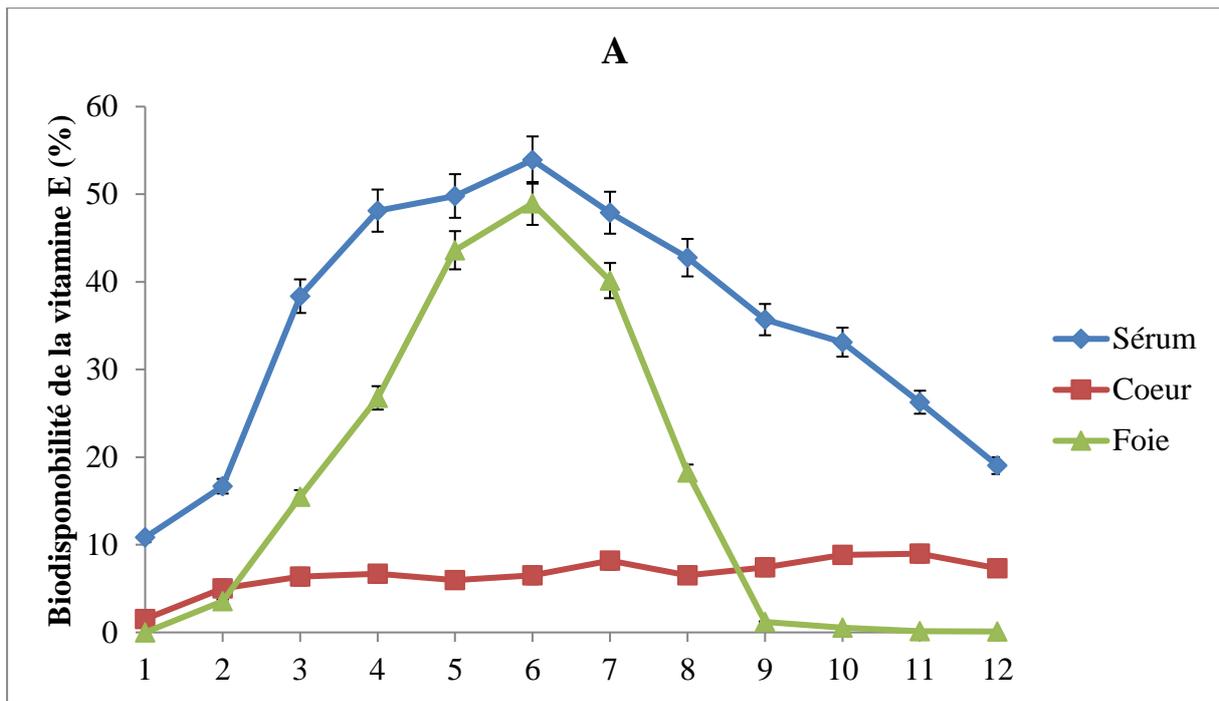


Figure 40 : Variation de la biodisponibilité en vitamines A (**B**) et E (**A**) dans les organes de rats

II. DISCUSSION

Les huiles de palme rouge et raffinée de marques R1 et R2 ainsi que l'huile de tournesol analysées ont des indices d'acides oscillant entre 0,21 et 1,23 mg KOH/g. Ces taux d'acides gras libres dans les huiles échantillonnées sont largement en dessous de la limite fixée par la FAO (FAO, 2010). Celle-ci est de 0,6 mg KOH/g d'huile pour les huiles raffinées et de 10 mg KOH/g d'huile pour l'huile vierge. En effet, dans les huiles végétales alimentaires, les acides gras sont en grande majorité présents sous forme d'esters de glycérol (glycérides) qui peuvent s'hydrolyser en donnant des glycérides partielles et des acides gras libres qui provoquent l'acidification de la matière grasse. Dans les échantillons d'huiles utilisées pour ce présent travail, le phénomène d'hydrolyse est moins poussé.

En outre, les acides gras insaturés, qu'ils soient engagés dans des liaisons esters ou libres, peuvent s'oxyder avec l'oxygène de l'air. Cette oxydation commence toujours par la formation de peroxydes, et dans les huiles étudiées, le taux de peroxydes formés varie de 0,26 à 1,5 meq O₂/Kg de corps gras. En moyenne, l'huile de palme rouge contient plus de peroxydes. Toutefois, les teneurs en peroxydes des huiles (huiles de palme rouge et raffinée et tournesol) sont inférieures à la norme établie par la FAO (FAO, 2010) qui est de 10 et 15 meq O₂/Kg d'huile respectivement pour les huiles raffinées et vierges. Les peroxydes se décomposent en produits secondaires d'oxydation (acides oxydés, aldéhydes, cétones) qui sont responsables du rancissement de la matière grasse. Ces deux réactions de détérioration (hydrolyse et oxydation) sont susceptibles de conduire à des modifications de l'apparence, de la texture et de la saveur qui peuvent compromettre la qualité organoleptique de la matière grasse. Selon Chatigre (2014), ces deux réactions d'altération (hydrolyse et oxydation) surviennent lors du stockage des graines ou de la matière grasse après extraction. Ces réactions peuvent être spontanées ou causées par des agents microbiens (surtout les moisissures) ou enzymatiques (lipases et lipoxydases endogènes).

Concernant l'indice d'iode, les résultats traduisent que les échantillons d'huiles de palme rouge ont les plus faibles teneurs en acides gras insaturés (63,93 g d'iode/100 g de corps gras) et l'huile de tournesol en a le taux le plus élevé (239,77 g d'iode/100 g de corps gras). En effet, l'indice d'iode traduit la qualité nutritionnelle des huiles en termes de teneurs en acides gras essentiels. Ainsi, l'huile de tournesol contient plus d'acides gras essentiels que les huiles de palme rouges et raffinées. De plus, en comparant les teneurs en AGI des huiles de palme rouge et raffinée, celles raffinées contiennent plus d'AGI. Ceci est confirmé par les travaux de Djohan (2017) qui avaient souligné que, par rapport à l'huile de palme rouge, l'oléine de palme (huile de palme raffinée) est plus riche en AGI.

Les teneurs en AGS et en AGI des huiles de palme rouge produites de façon artisanale étudiées varient de 41,38 % à 54 % et de 46,00 % à 58,62 % respectivement. Ces valeurs sont proches de celles rapportées par les travaux de **Mondé et al. (2008)**, avec des teneurs en AGS variant entre 40 % et 52 % puis de 48 % à 60 % pour les AGI.

Néanmoins, cette composition en AGS et en AGI diffère de celle observée par **Kouakou et al. (2017)** avec des proportions en AGS (34,8-39,3 %) plus faibles dans les huiles de palme rouge prélevées dans quatre districts de la Côte d'Ivoire. Egalement, la teneur en AGI (58,6-64,3 %) des huiles de palme rouges de ces quatre contrées est supérieure à celle obtenue dans cette étude. Cette différence de teneur en acides gras saturés et insaturés des huiles de palme rouge alimentaires produites de façon artisanale serait due à la variété de graines de palmiers à huile utilisée pour la production de ces huiles ou au type de sol sur lequel les palmiers se développent et au changement climatique. En effet, les travaux de **Boyer (2010)** effectués sur les huiles végétales, indiquent que la composition en acides gras des huiles dépend de la nature de la plante, des conditions de culture, du sol et de la saison.

De même, les huiles de palme raffinées de marques R1 et R2, ont des teneurs en AGS et en AGI similaires. L'huile de palme raffinée de marque R1 contient en moyenne 41,54 % d'AGS et 58,46 % d'AGI. Tandis que celle de marque R2 en moyenne, contient 41,21 % et 58,78 % respectivement en AGS et AGI. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par **Chatigre (2014)**. Ces travaux ont révélé que l'huile de palme raffinée de marque "Dinor" contenait 44,09 % d'AGS et 55,91 % d'AGI. Cette similarité serait due au fait que les deux marques d'huiles de palme raffinées produites en Côte d'Ivoire subissent des procédés de raffinage semblables.

Par ailleurs, l'acide palmitique qui représente le danger étudié est présent à des teneurs variant entre 32,95 % et 48,04 % dans les huiles de palme rouge alimentaires produites de façon artisanale. L'huile de palme rouge de Dabou présente la plus forte teneur en acide palmitique avec une valeur de 48,04 %, alors que, celle de Man en a la plus faible valeur (32,95 %). Ces teneurs en acide palmitique avoisinent celles décrites par **Lecerf (2013)** avec des valeurs allant de 39,3 % à 47,5 %.

Les huiles de palme raffinées R1 et R2 contiennent respectivement 35,29 % et 34,98 % d'acide palmitique en moyenne. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par **Chatigre (2014)** qui ont révélé la présence de 37,97 % d'acide palmitique dans l'huile de palme raffinée de marque Dinor.

En effet, l'acide palmitique est un acide gras qui fait partie des constituants de la membrane cellulaire. Il assure des rôles très importants chez l'homme dont la dépense énergétique, l'élasticité et la viscosité membranaires. En outre, il véhicule les vitamines liposolubles telles les vitamines A, D, E et K. En revanche, il peut entraîner l'augmentation du taux de cholestérol LDL et HDL suite à une ingestion excessive (**Legrand, 2007; Seghier, 2014**).

Parmi les quatre homologues de vitamine E (alpha, beta, delta, gamma), l'alpha tocophérol, l'alpha tocotriénol et le gamma tocotriénol sont les plus présents dans les huiles de palme brute et raffinée analysées. Les huiles de palme rouge de Man et de Yamoussoukro ont les teneurs les plus élevées en ces différents types de vitamine E. Le gamma tocotriénol est le plus abondant dans toutes les huiles avec une teneur variant de 22,55 à 70,71 mg/100 g. Ces teneurs sont supérieures à celles des huiles de palme analysées par **Shahidi et Costa de Camargo (2016)** qui avaient détecté 11,3 à 36 mg/100 g de gamma tocotriénol.

Toutefois, le raffinage n'influence quasiment pas les concentrations en tocotriénols et en tocophérols des huiles de palme puisque ceux-ci sont en quantité plus ou moins identique dans les huiles de palme rouge et raffinée. Selon **Tarmizi et Lin (2008)**, le raffinage n'entraîne qu'une faible perte en vitamine E (**Tarmizi et Lin, 2008**). Bien que les tocophérols ont une forte capacité vitaminique E, les tocotriénols sont avérés posséder des activités plus élevées pour lutter contre le stress oxydatif, empêcher la biosynthèse du cholestérol, protégeant ainsi l'organisme contre l'hypercholestérolémie et le syndrome métabolique (**Frank et al., 2012**).

Par ailleurs, le raffinage dégrade fortement les caroténoïdes (provitamine A), d'où la nécessité d'un enrichissement en vitamine A à la fin du raffinage des huiles de palme raffinées produites en Côte d'Ivoire. Cet ajout permet d'obtenir environ 9 à 13,5 mg de palmitate de rétinol ou d'acétate de rétinol dans un (1) Kg d'huile raffinée (**Houssaini, 2015**). Parmi les huiles de palme étudiées, l'huile de palme rouge est la plus riche en provitamine A, en vitamine E et en acide palmitique. Ainsi, la variation des taux sériques en triglycérides, cholestérols et en vitamines A et E chez les rats s'explique par le fait que, l'huile de palme rouge, une fois déposée dans l'estomac, subit un mouvement mécanique de brassage et se mélange aux sécrétions gastriques.

En effet, la muqueuse gastrique sécrète la lipase gastrique qui va hydrolyser les triglycérides (composé essentiel de l'huile de palme rouge). Ceci va entraîner la formation d'acide gras libre, de mono et diglycérides (**Pafumi et al., 2002**). Ce mélange rejoint le duodénum (intestin grêle). A ce niveau, les di et tri glycérides restants seront hydrolysés par la bile et la lipase pancréatique secrétées respectivement par le foie et le pancréas. L'ensemble des produits de l'hydrolyse formés (acides gras libres, monoglycérides, stérols) vont s'associer aux sels biliaires pour former les micelles. Cette forme micellaire facilite la solubilisation et le transport des hydrolysats jusqu'aux cellules entérocytaires situées au niveau du jejunum (intestin grêle) (**Petit et al., 2007**). Les acides gras à chaînes courtes et moyennes ($C \leq 10$) sont directement absorbés et métabolisés au niveau du foie, apportant de l'énergie pour le fonctionnement de l'organisme (**Lecleire, 2008**).

Selon les travaux de **Vors (2012)**, les acides gras à longues chaînes et les monoglycérides sont transportés par des protéines vers les différents organites entérocytaires (reticulum endoplasmique,

appareil de golgi) pour être métabolisés soit par oxydation dans les mitochondries, produisant de l'énergie, soit par estérification dans le réticulum endoplasmique, pour la synthèse de triglycérides (**Vors, 2012**). Ces triglycérides représentent la forme de stockage d'énergie dans les tissus adipeux (**Bruckert et Le Goff, 2018**). Le taux de triglycérides, neuf heures après le gavage, indique une absorption intestinale élevée des acides gras contenus dans l'huile de palme rouge utilisée pour le gavage. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus par **Vors et al. (2016)** qui indiquaient que l'absorption lymphatique d'acides gras chez les rats gavés avec de la crème et du beurre était élevée au bout de huit heures. Les taux de cholestérols HDL et LDL quasi nuls, les premières heures de l'expérience, vont subir une augmentation, notamment pour le cholestérol LDL, dès la neuvième heure, avec un taux allant de 0,007 à 1,71 g/L. Toutefois, cette concentration sérique en LDL cholestérol ne représente pas un risque d'hypercholestérolémie, car les travaux de **Bongard et Ferrieres (2006)** ont montré que l'hypercholestérolémie était liée à un taux de LDL cholestérol supérieur à 2,5 g/L.

Le taux élevé de LDL cholestérol serait dû au besoin en cholestérol chez les rats dont la synthèse endogène est occasionnée par la dégradation des acides gras libres en acetyl-CoA favorisant la biosynthèse du cholestérol au niveau du foie. La digestion-absorption des vitamines A et E a lieu en même temps que la phase lipidique subisse une émulsion en gouttelettes lipidiques dans l'estomac, ensuite dans le duodenum (**Borel et al., 2001; Borel, 2003**).

Dans la suite du processus de digestion, les vitamines A et E se retrouvent sous la forme de micelles. Ceci facilite leur absorption au niveau de l'ilion (moitié supérieure de l'intestin grêle) (**Reboul, 2011; Vors, 2012**). Cette absorption de la vitamine E est maximale dans le foie et le sérum, six heures après la digestion de l'huile de palme rouge par les rats définissant une biodisponibilité de près de 50 % de la vitamine E dans ces organes. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la digestion totale des lipides a lieu six heures de temps après l'ingestion. Selon **Reboul (2011)**, seules les formes libres des vitamines A et E sont absorbées par la muqueuse intestinale dès l'ingestion de l'aliment et les formes estérifiées subissent l'hydrolyse. Cependant, l'hydrolyse des esters de rétinol commencerait dans l'estomac sous l'effet de la lipase gastrique (**Carriere et al., 1993**). Ceci expliquerait la biodisponibilité de la vitamine A estimée à environ 1,5 % dans le foie et le sérum déjà à la première et à la deuxième heure de digestion. A cette biodisponibilité va s'ajouter la synthèse hépatique de vitamine A à partir des caroténoïdes de l'huile de palme rouge augmentant ainsi la biodisponibilité de la vitamine A à 27,32 %, après quatre heures de digestion. Cette biodisponibilité post prandiale des vitamines A et E, après consommation de l'huile de palme rouge, représente un facteur considérable de réduction du risque de maladies cardiovasculaires lié à la consommation de cette huile.

En effet, ces vitamines liposolubles intègrent les lipides circulants afin d'empêcher la formation de plaques d'athéromes (facteur de risque cardiovasculaire) dû à l'oxydation et au dépôt des lipides dans les artères. Ces résultats se rapprochent de ceux de **Desmarchelier et al. (2014)** qui ont réalisé une analyse sur la cinétique de l' α -tocophérol dans les chylomicrons. Ceux-ci décrivaient la réduction du risque de maladies coronariennes grâce à la biodisponibilité de l' α -tocophérol dans les chylomicrons mesurée à intervalle de temps réguliers jusqu'à huit heures de temps, après consommation d'un repas supplémenté en α -tocophérol. Ces travaux indiquaient que la concentration en α -tocophérol des chylomicrons était significativement corrélée à la concentration plasmatique en α -tocophérol des sujets.

III. CONCLUSION PARTIELLE

L'étude de la caractérisation chimique des huiles et de la biodisponibilité in vivo chez des rats a révélé dans un premier temps que les teneurs en acides gras saturés (AGS) et insaturés (AGI) des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée varient respectivement entre 41,21 et 54 % et 46,00 à 58,78 %. En outre, l'acide palmitique représentant le danger à considérer dans le calcul du risque d'hypercholestérolémie est présent dans les huiles de palme rouge et raffinée à des teneurs comprises entre 32,95 et 48,04 %. Les échantillons d'huiles de palme rouge prélevés dans la zone de Dabou ont les taux les plus élevés en acide palmitique avec une teneur moyenne de 48,04 %. Les échantillons d'huile de palme rouge et raffinées prélevés dans les zones d'étude contiennent plus d' α -tocophérol, α -tocotriénol et de γ -tocotriénol. Les huiles de palme rouge de la région de Man ont des teneurs les plus élevées en α -tocotriénol (46,78 %) et en γ -tocotriénol (70,71 %) et celles de Yamoussoukro contiennent plus d' α -tocophérol (34,45 %). Les teneurs en provitamine A des huiles de palme rouge et raffinées sont comprises entre 7,68 et 150,01 mg ER/Kg. Les échantillons d'huiles de palme rouge de Man ont les taux les plus élevés en provitamine A (150,01 mg ER/Kg).

L'étude de la biodisponibilité des composés chez les rats indique que les vitamines A et E, le cholestérol et les triglycérides sont biodisponibles après consommation de l'huile de palme rouge. Les taux sériques en triglycérides augmentent avec le temps de digestion de l'huile de palme rouge avec des taux variant de 0,17 à 10,41 g/L. Le taux de LDL cholestérol (0,01-1,71 g/L) au bout de 12 heures de digestion de l'huile de palme rouge est inférieur à la concentration décrivant un risque coronarien. La répartition de la vitamine E est plus représentative dans l'ensemble des organes étudiés, mais la vitamine A se retrouve en plus grande quantité dans le foie.

PARTIE III : ÉVALUATION BÉNÉFICE/RISQUE LIÉE À LA CONSOMMATION DES HUILES DE PALME

I. RESULTATS

I.1. Évaluation des bénéfices nutritifs liés aux huiles de palme rouge et raffinée

I.1.1. Influence de la conservation ménagère sur la valeur nutritive des huiles

I.1.1.1. Évaluation des concentrations en provitamine A et en vitamine E durant la conservation des huiles dans les ménages

Les pertes en provitamine A des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinées au cours de la conservation à la température ambiante sont décrites à la **figure 41 A**. L'analyse de ces valeurs indique que les teneurs en provitamine A des huiles conservées sont statistiquement différents. Les pertes en provitamine A augmentent avec le temps de conservation pour tous les échantillons d'huiles étudiées et celles-ci varient de 1,73 à 40,60 % de la première à la quatrième semaine de conservation.

Parmi les échantillons d'huiles conservées avec les contenants ordinaires (sans protection avec les feuilles de papier aluminium), les échantillons d'huiles raffinées de marques R1 et R2 présentent les plus fortes pertes en provitamine A dès la première semaine de conservation avec des pertes respectives de 20,38 et 20,78 %. A cette première semaine de conservation, l'huile de palme rouge a le plus faible taux de perte (13,31 %). Ces différentes pertes augmentent progressivement pour atteindre 36,59 et 40,60 % pour les échantillons d'huiles de palme raffinées de marques R2 et R1. Elle est de, 32,93 % pour ceux des huiles de palme rouges. Les pertes en provitamine A des échantillons d'huiles de tournesol (conservées sans protection) oscillent entre 16,37 % et 24,78 % de la première à la quatrième semaine de conservation. Les pertes en provitamine A des échantillons d'huiles de palme raffinées conservés avec les contenants protégés par des feuilles de papier aluminium sont plus importantes que celles des huiles de palme rouge conservées dans la même condition. Ces pertes varient de 1,73 à 24,05 % pour l'huile de palme rouge et de 12,18 à 30,22 % pour les échantillons d'huiles de palme raffinées au cours des quatre (4) semaines de conservation.

Les pertes en provitamine A des échantillons d'huiles de palme conservés avec les contenants protégés par des feuilles de papier aluminium sont plus faibles que celles non protégés. L'analyse de la **figure 41 B** révèle que les pertes en vitamine E des différents échantillons d'huiles caractérisés sont significativement différentes. A la première semaine de conservation, les pertes sont plus élevées

au niveau des échantillons d'huiles de palme raffinées de marque R1 conservés sans protection (18,45 %) que celles des autres huiles. Les échantillons d'huiles de palme rouge, raffinée de marque R2 et l'huile de tournesol conservés ordinairement perdent respectivement 10,81%, 4,43 % et 7,51 % de vitamine E à la première semaine. Ces pertes sont observées jusqu'à la quatrième semaine de conservation.

Les échantillons d'huiles de tournesol, de palme rouge et raffinée conservés sans protection avec les feuilles de papier en aluminium ont les plus fortes pertes (38,89 – 43,90 %). Au nombre des échantillons d'huiles de palme protégés avec des feuilles de papier aluminium, les huiles de palme rouge ont les plus faibles pertes en vitamine E durant les quatre semaines de conservation, avec des pertes variant de 5,95 à 24,97 %. Mais, les échantillons d'huiles de palme raffinées en ont les valeurs les plus élevées (1,60 à 30,01 %). Les taux de provitamine A et de vitamine E restants après quatre semaines de conservation des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée protégés varient de 419,67 à 825,42 µg et de 8,10 à 12,41 mg respectivement en provitamine A et en vitamine E. Les échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée non protégés contiennent 230,67 à 245,65 µg de provitamine A et de 3,18 à 5,45 mg de vitamine E après quatre semaines de conservation.

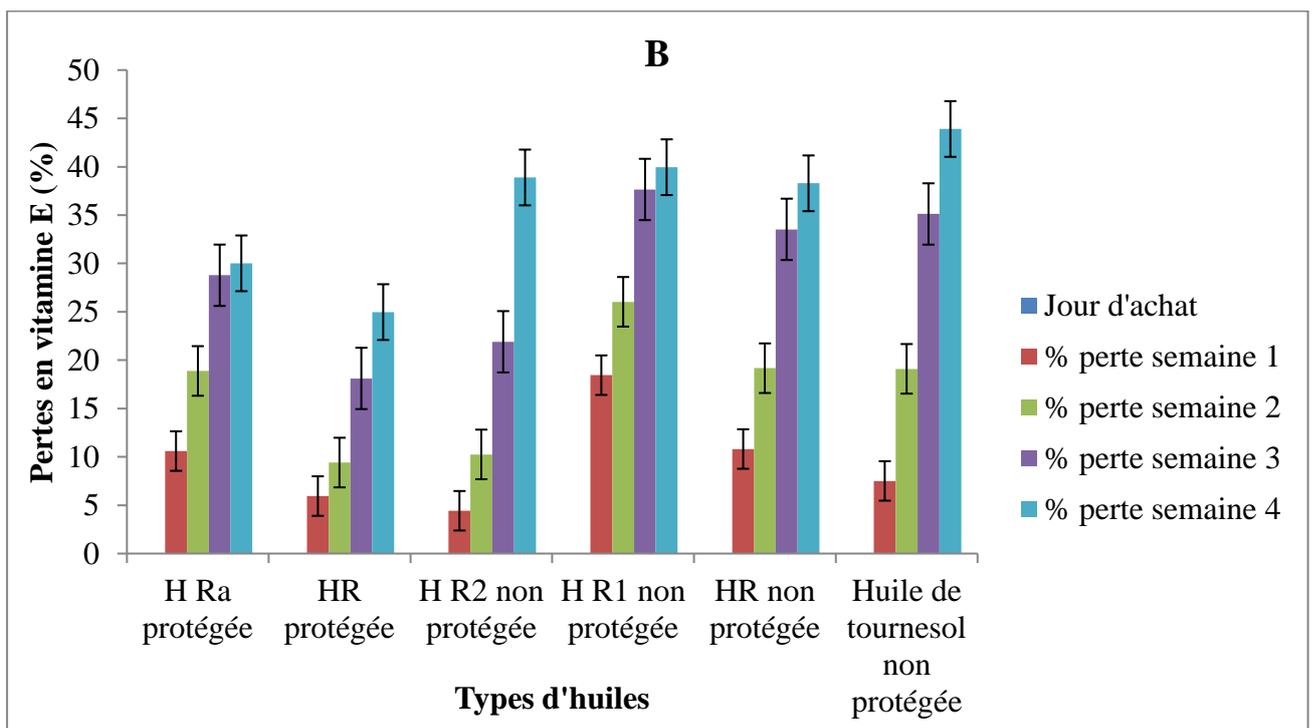
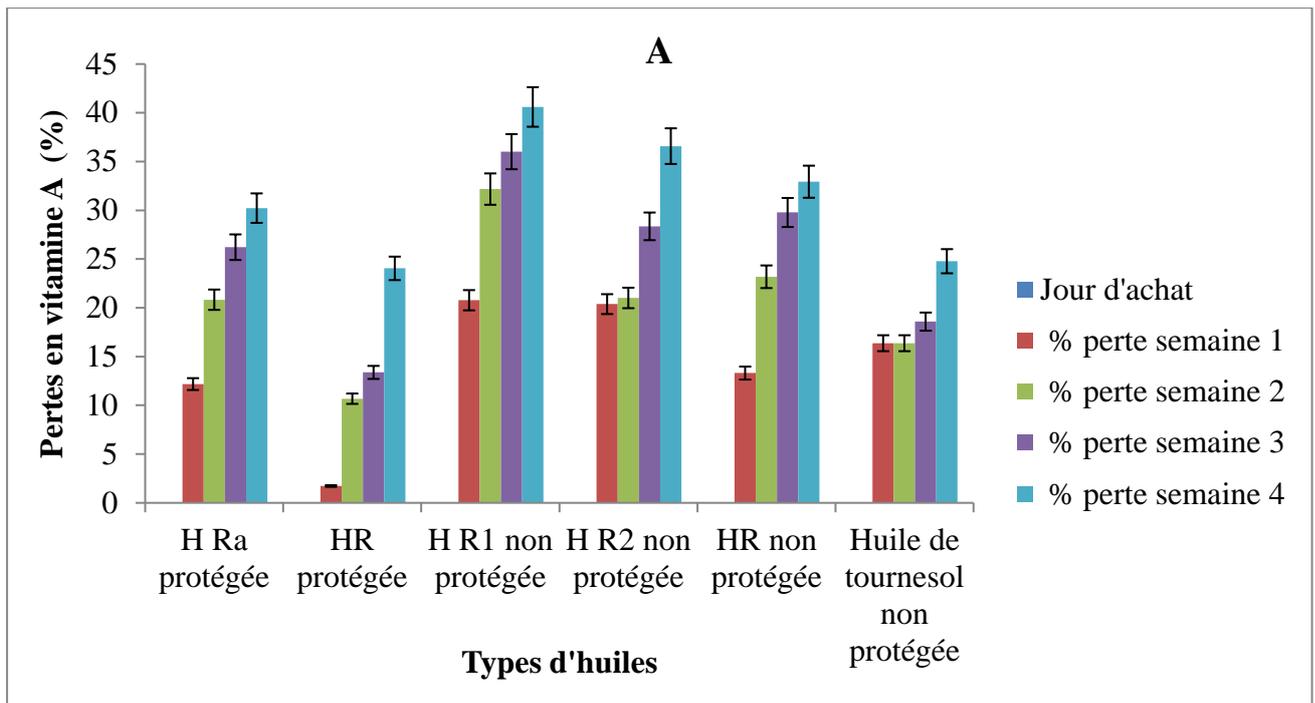


Figure 41: Répartition des pertes en provitamine A (A) et en vitamine E (B) au cours de la conservation des huiles alimentaires dans les ménages

H Ra : Huile raffinée
 HR : Huile rouge
 H R1 : Huile raffinée R1
 H R2 : Huile raffinée R2

I.1.1.2. Évaluation des concentrations en acides gras libres, insaturés et en peroxydes des huiles au cours de la conservation dans les ménages

L'évolution des indices d'acide, d'iode et de peroxyde des huiles de palme rouge, raffinée et de l'huile de tournesol au cours de la conservation est présentée à la **figure 42**. Les teneurs sont significativement différents d'une semaine à une autre.

La **figure 42 A** montre que les huiles de palme rouge ont les valeurs d'indice d'acide les plus élevées (1,18 et 1,23 mg KOH/g) à l'achat. Ces indices augmentent avec le temps de conservation. Mais, les indices d'acide des échantillons d'huiles de palme rouge non protégés évoluent plus rapidement que ceux protégés pour atteindre respectivement 2,89 et 2,01 mg KOH/g à la quatrième semaine de conservation. Les indices d'acide des échantillons d'huiles de palme raffinées de marque R2 augmentent plus rapidement que ceux de la marque R1 dans les mêmes conditions de conservation. Les échantillons d'huiles de tournesol et de palme raffinées protégés présentent une évolution d'indice d'acide quasi identique durant les quatre semaines de conservation. L'analyse de la **figure 42 B** indique que les indices d'iode des différents échantillons d'huiles de palme sont constants de la première à la quatrième semaine de conservation. Les indices d'iode des échantillons d'huiles de tournesol diminuent avec le temps de conservation en allant de 239,77 g I₂/100 g la première semaine à 177,35 g I₂/100 g la quatrième semaine.

Les représentations des indices de peroxyde exprimées à la **figure 42 C** montrent une augmentation de peroxydes dans l'ensemble des huiles étudiées. Les teneurs en peroxyde des échantillons d'huiles de palme rouge protégés et non protégés sont les plus élevées à l'achat avec des valeurs respectives de 1,46 et de 1,50 meq O₂/Kg. Mais l'augmentation du taux de peroxydes néoformés est plus observée avec les échantillons d'huiles de tournesol (de 0,73 meq O₂/Kg à l'achat à 5,35 meq O₂/Kg la semaine quatre) et les huiles de palme raffinées de marque R2 non protégés (de 0,27 meq O₂/Kg à l'achat à 4,67 meq O₂/Kg la semaine quatre). Concernant les échantillons d'huiles de palme rouge protégés ou non protégés, la formation de peroxydes au cours de la conservation est plus élevée dans les échantillons d'huiles de palme rouge non protégés de la semaine 1 à la semaine 3 (2,20-3,89 meq O₂/Kg).

Toutefois, à la semaine quatre les teneurs en peroxyde des deux types d'huiles de palme rouge sont quasi identiques (environ 4 meq O₂/Kg). Par ailleurs, la formation de peroxydes dans les échantillons d'huiles de palme raffinées non protégées (0,4 - 3,01 meq O₂/Kg : « R1 » ; 0,27- 4,67 meq O₂/Kg : « R2 ») était plus accélérée que dans les échantillons d'huiles de palme raffinées protégés (0,26 – 1,98 meq O₂/Kg).

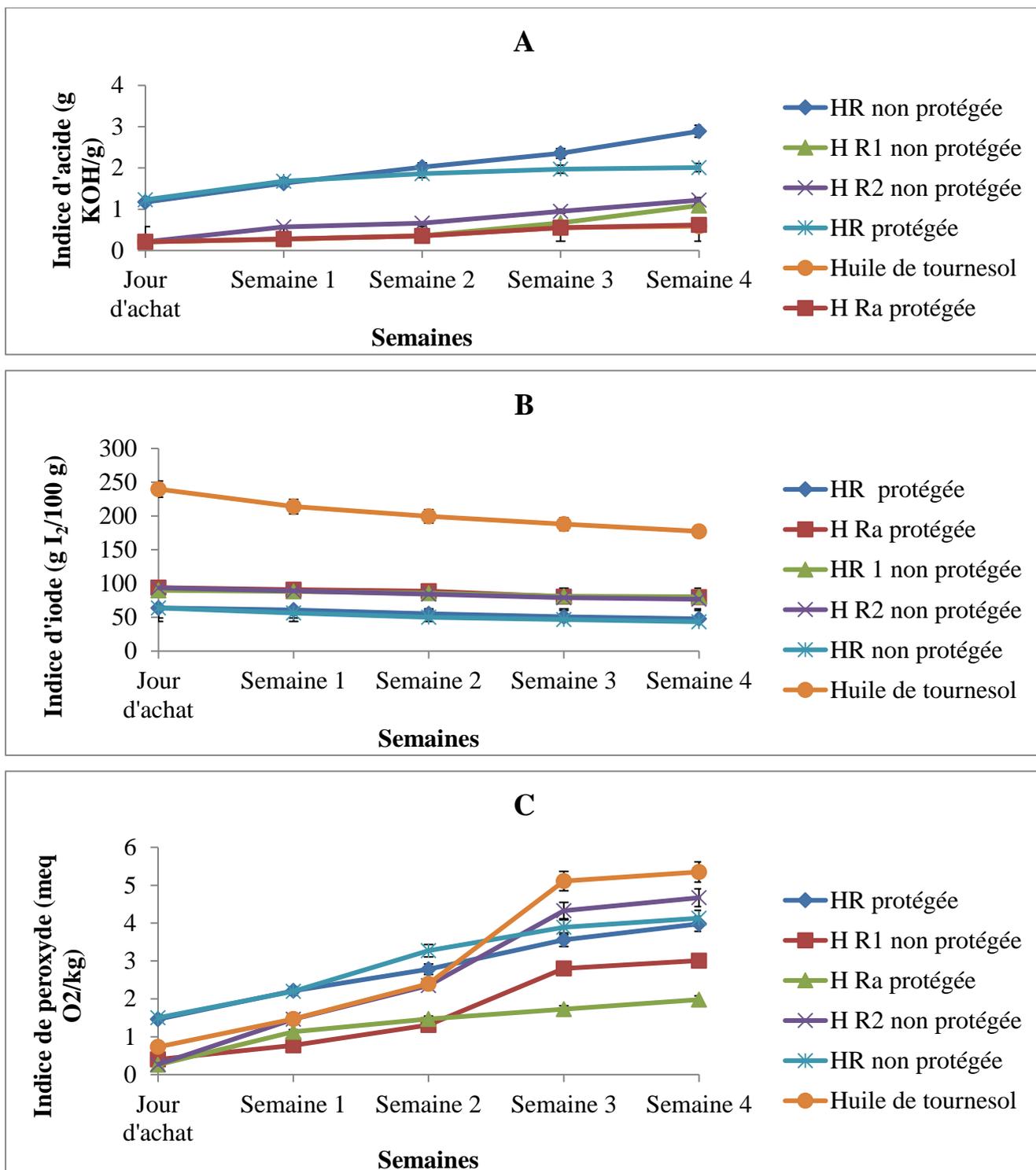


Figure 42: Variation des Indices d'acide (A), d'iode (B) et de peroxyde (C) des échantillons d'huiles de palme rouges et raffinées au cours de leur conservation dans les ménages

HR : Huile rouge
 H R1 : Huile raffinée R1
 H R2 : Huile raffinée R2
 H Ra : Huile raffinée

I.1.2. Effet des rayons solaires sur la valeur nutritive des huiles de palme

I.1.2.1. Évaluation des concentrations en provitamine A et en vitamine E durant la vente (exposition solaire) des huiles de palme

Les taux de pertes en provitamine A et en vitamine E, sont représentés par la **figure 43** et sont statistiquement différents durant les semaines d'exposition. L'analyse des résultats de la **Figure 43 A** révèle que les pertes en provitamine A augmentent avec le temps d'exposition solaire des échantillons d'huiles. De plus, ces taux de pertes sont plus importants pour les échantillons d'huiles contenues dans les emballages non recouverts de feuilles d'aluminium. Ils sont respectivement de 89,47 % ; 93,67 % et 94,49 % pour les échantillons d'huiles de palme rouge, raffinée R1 et l'huile raffinée R2. Concernant les échantillons d'huiles de palme dont les contenants sont protégés avec des feuilles de papier aluminium, les pertes en provitamine A varient de 18,80 à 58,30 %. Ceci indique une altération de plus de la moitié des teneurs en provitamine A de ces échantillons après quatre semaines d'exposition aux rayons solaires.

Quant à la **figure 43 B**, elle présente les taux de pertes en vitamine E des échantillons d'huiles de palme rouges et raffinées en fonction du temps d'exposition solaire. Les pertes en vitamine E des huiles de palme rouges et raffinées sont très élevées dès la première semaine d'exposition solaire. Ces pertes brusques varient de 44,53 à 61,65 % pour les échantillons d'huiles protégés et non protégés. Mais de la deuxième à la quatrième semaine, ces pertes augmentent lentement et atteignent environ 60 % pour les échantillons d'huiles protégés et 80 % pour ceux non protégés. Les échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée protégés exposés aux rayons solaires conservent 141,37 à 293,65 µg de provitamine A et 1,60 à 2,15 mg de vitamine A après les quatre semaines d'expérimentation. Mais, pour les échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée exposés aux rayons solaires sans protection, les taux de provitamine A et de vitamine E après quatre semaines d'expérimentation sont respectivement de 23,84 à 36,10 µg et de 1,10 à 1,24 mg.

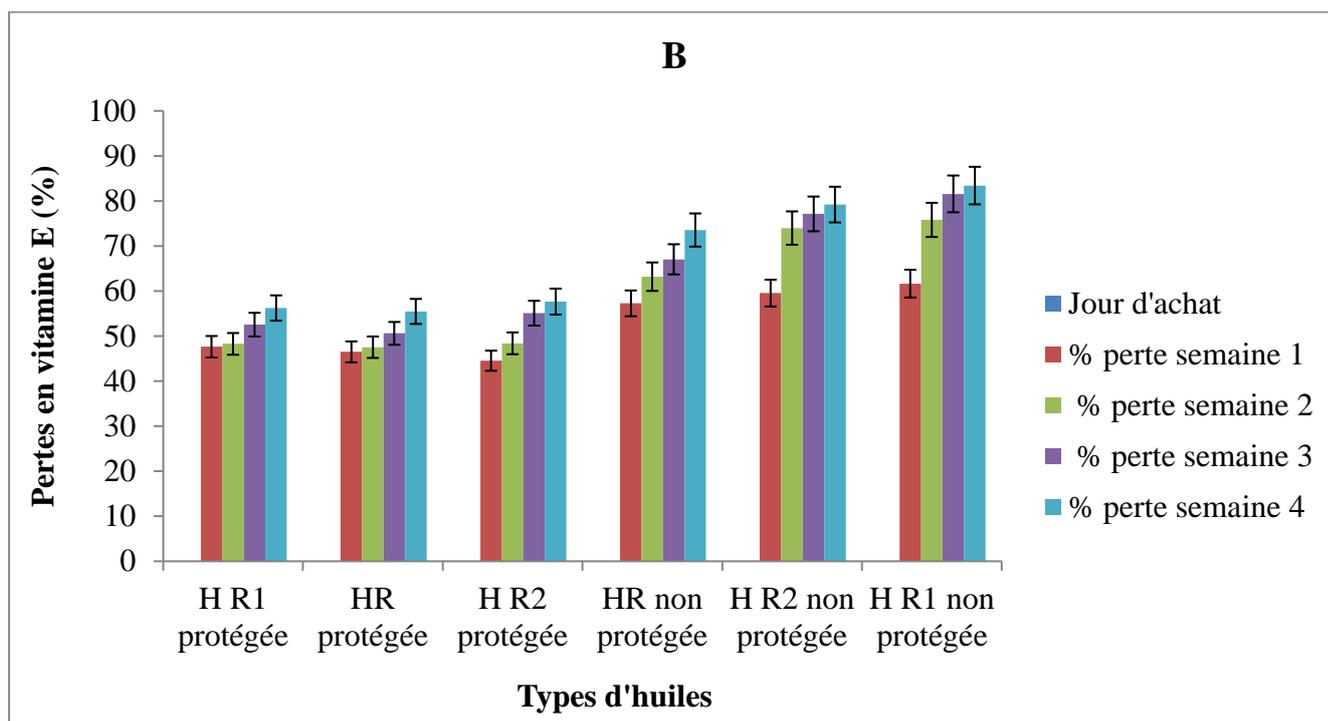
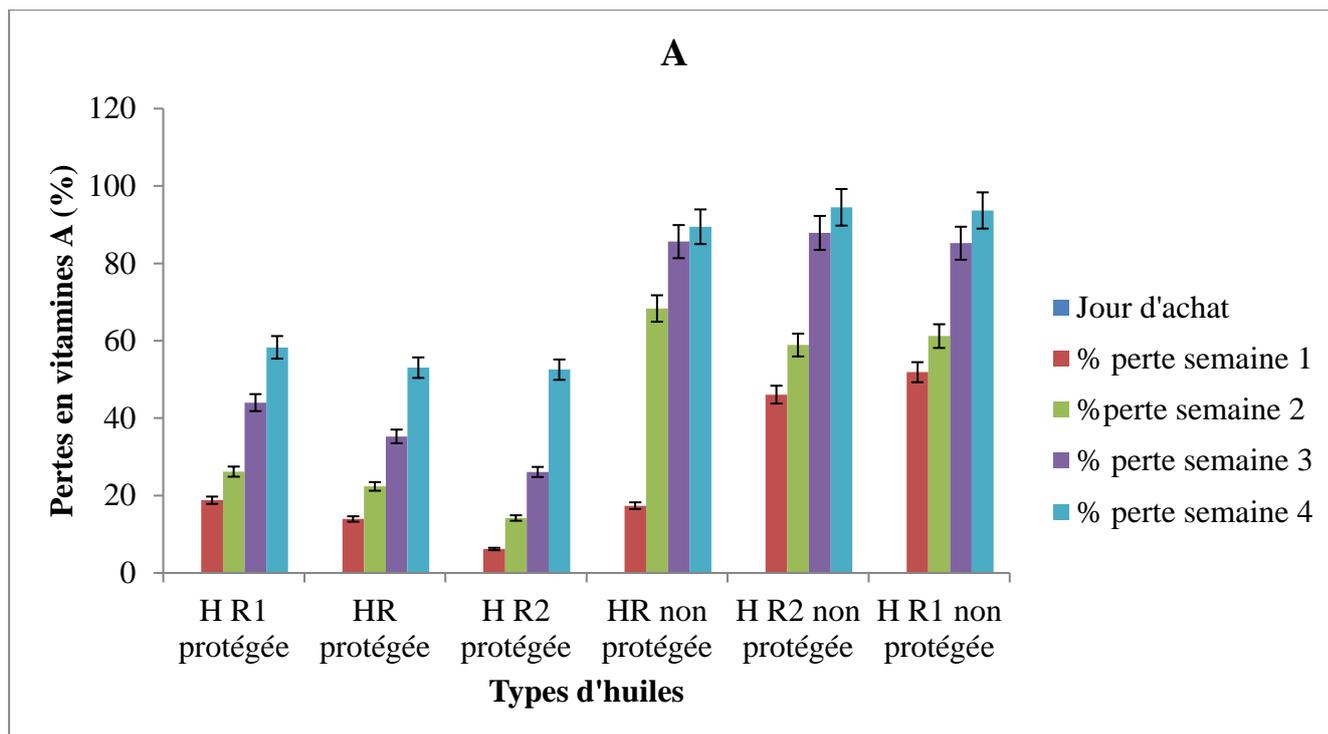


Figure 43: Répartition des pertes en provitamine A (A) et en vitamine E (B) durant l'exposition solaire des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée

HR : Huile rouge
H R1 : Huile raffinée R1
H R2 : Huile raffinée R2

I.1.2.2. Évaluation des concentrations en acides gras libres, insaturés et en peroxydes des huiles exposées aux rayons solaires durant la vente

Les variations des taux d'acides gras libres, insaturés et de peroxydes dans les huiles de palme rouge et raffinée exposées aux rayons solaires sont exprimées à la **figure 44**. Les valeurs obtenues sont significativement différentes.

La **figure 44 A** traduit les variations des teneurs en acide gras libres (indice d'acide) des échantillons d'huiles de palme qui varient de 0,89 à 17,14 mg KOH/g du jour d'achat à la quatrième semaine d'exposition solaire. Les indices d'acides des échantillons d'huiles de palme rouge sont plus élevés à l'achat (2,01–2,18 mg KOH/g). Durant les quatre semaines d'exposition solaire, les teneurs en acides gras libres des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée avec les contenants recouverts de feuilles en aluminium et non protégées augmentent de façon graduelle. Toutefois, cette augmentation des teneurs en acides gras libres est plus faible dans les échantillons d'huiles protégés par les feuilles en aluminium (1,44-5,17 mg KOH/g) que ceux non protégés (0,89-17,14 mg KOH/g).

L'analyse des résultats de la **figure 44 B** indique que les indices d'iode des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée protégés à l'aide des feuilles de papier en aluminium et non protégés varient entre 95,11 et 3,22 g I₂/100 g. Les indices d'iode des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée protégés et non protégés diminuent durant les quatre semaines d'exposition solaire. A la quatrième semaine de l'expérimentation, les indices d'iode de différents échantillons d'huiles sont inférieurs à 10 g I₂/100 g sauf ceux des échantillons d'huiles de palme rouge protégés et non protégée avec des valeurs respectives de 18,11 et 12,84 g I₂/100 g.

La **Figure 44 C** exprime la variation du taux de peroxydes dans les échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée exposés aux rayons solaires. La formation de peroxydes dans les échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée non protégés avec les feuilles de papier en aluminium se fait plus rapidement que ceux protégés. A l'achat, l'ensemble des huiles contiennent 0,11 ± 0,10 à 0,34 ± 0,08 meq O₂/Kg de corps gras. Déjà à la première semaine d'exposition, les quantités de peroxyde ont augmenté dans les échantillons d'huiles de palme protégés et non protégés et ces valeurs sont comprises entre 3,15 ± 0,01 et 4,24 ± 0,04 meq O₂/Kg pour les échantillons protégés et de 5,93 ± 0,07 à 7,02 ± 0,12 meq O₂/Kg pour ceux non protégés durant les quatre semaines. Les échantillons d'huiles de palme raffinée de marque R2 protégés (3,15 ± 0,01 meq O₂/Kg) présentent les plus faibles teneurs en peroxyde et les échantillons d'huiles de palme rouge non protégés (7,02 ± 0,12 meq O₂/Kg) en ont les plus élevées la première semaine d'exposition. Ces teneurs en peroxydes augmentent avec la durée d'exposition. Toutefois, les taux de peroxydes sont plus faibles dans les échantillons d'huiles de

palme protégés ($4,32 \pm 0,15 - 5,91 \pm 0,06$ meq O₂/Kg) que ceux non protégés ($18,19 \pm 0,02 - 24,00 \pm 0,03$ meq O₂/Kg). A la quatrième semaine d'exposition solaire, les échantillons d'huiles de palme raffinée de marque R2 protégés ont les plus faibles teneurs en peroxyde ($4,32 \pm 0,15$ meq O₂/Kg) et les échantillons d'huiles de palme raffinées R1 non protégés en renferment les plus fortes quantités ($24,00 \pm 0,03$ meq O₂/Kg).

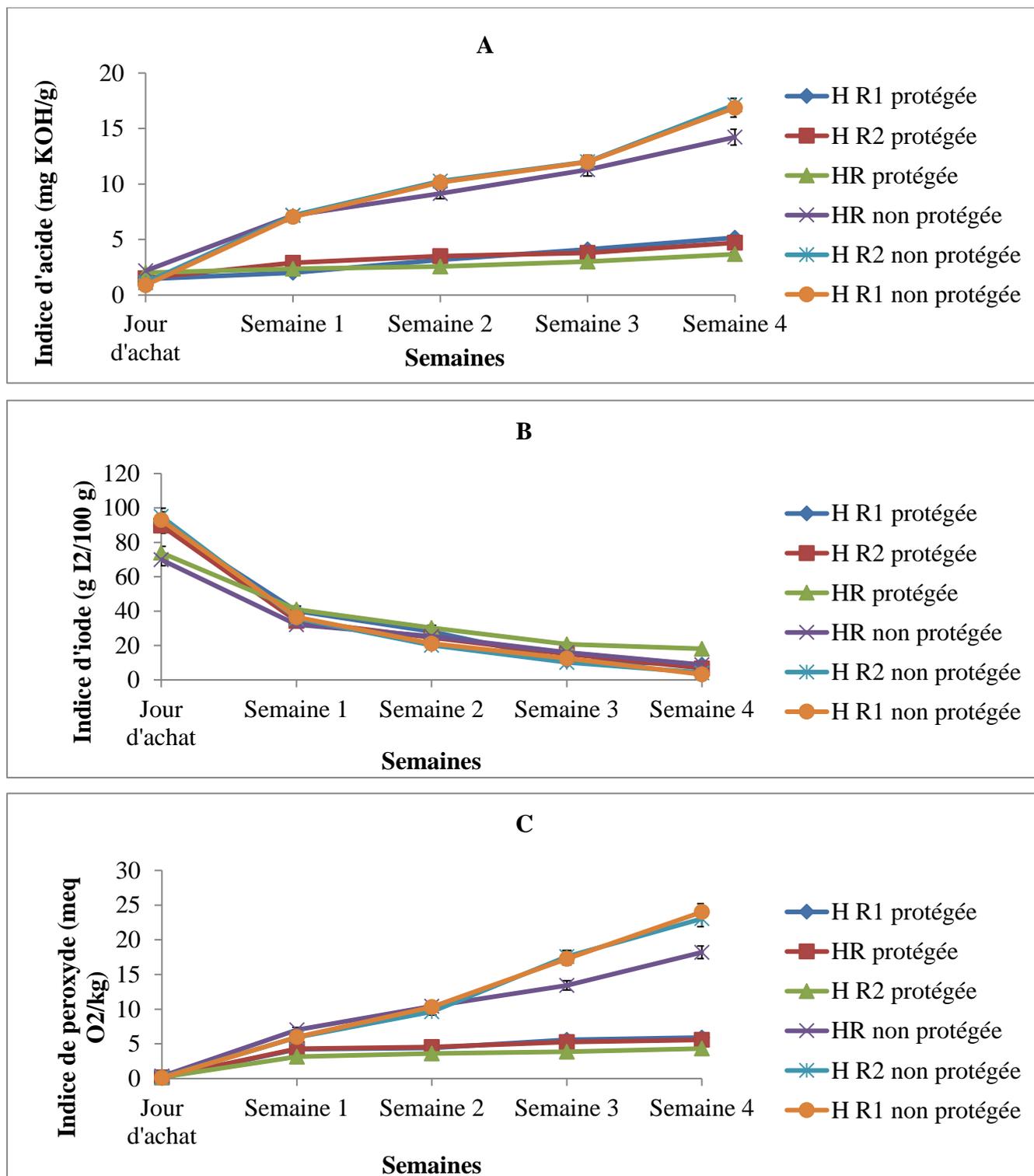


Figure 44 : Variation des indices d'acide (A), d'iode (B) et de peroxyde (C) des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée durant l'exposition solaire

HR : Huile rouge
H R1 : Huile raffinée R1
H R2 : Huile raffinée R2

I.2. Évaluation du risque d'hypercholestérolémie lié à la consommation des huiles de palme rouge et raffinée

Le risque d'hypercholestérolémie a été déterminé grâce à l'équation : $I = C \times Q \times F$ (Eq 7) et dans le cas de ce travail, 1500 itérations ont été réalisées à partir des valeurs des variables (concentration de l'acide palmitique (C), quantité d'huile de palme consommée (Q), fréquence de consommation de l'huile (F)) pour donner les fonctions de densités cumulées. Ces fonctions ont été déterminées pour chaque type d'huile (huiles rouge et raffinées de marque R1 et R2) en tenant compte de la biodisponibilité de l'acide palmitique (danger) à 100 % ou à 11 %.

I.2.1. Évaluation du risque d'hypercholestérolémie lié à la biodisponibilité totale (100 %) de l'acide palmitique des huiles de palme

Les **figures 45, 46 et 47** expriment les résultats des simulations par la méthode de Monte Carlo à partir des distributions des quantités d'huile de palme ingérées (Q), des concentrations d'acide palmitique dans ces huiles (C) et de leur fréquence de consommation (F). Elles représentent les distributions de l'ingestion probable de l'acide palmitique (danger) au cours de la consommation des huiles de palme brute et raffinée dans le cas où l'acide palmitique des huiles est à 100 % biodisponible. Ces figures illustrent que les proportions des populations qui ingèrent des quantités d'acide palmitique à des doses inférieures ou égales à l'Apport Nutritionnel Conseillé (ANC) au cours de la consommation des huiles de palme rouge, raffinée de marques R1 et R2 sont respectivement de 73,98 %, 74,20 % et de 78,27 %.

Ces probabilités « positives » indiquent qu'environ 74 % à 78 % de la population en Côte d'Ivoire consomment les huiles de palme rouge et raffinée à des quantités rationnelles respectant l'ANC. Cependant, la détermination du risque, c'est-à-dire les probabilités des cas d'augmentation du taux de cholestérol sérique suite à la consommation des huiles de palme indiquent qu'environ 26,02 %; 25,80 %; 21,73 % des populations enquêtées ingèrent des quantités d'acide palmitique supérieures au taux recommandé par l'Anses au cours de la consommation des huiles de palme rouge et raffinée de marques R1 et R2. Soit, 26020, 25800 et 21730 cas d'augmentation du taux de cholestérol sérique pour 100000 habitants après consommation des huiles de palme rouge et raffinée de marques R1 et R2. Ainsi, pour une biodisponibilité de la totalité (100 %) de l'acide palmitique contenu dans les huiles de palme rouge et raffinée, environ 22000 à 26000 personnes sur 100000 seraient atteints d'une hypercholestérolémie, suite à la consommation des huiles de palme produites en Côte d'Ivoire.

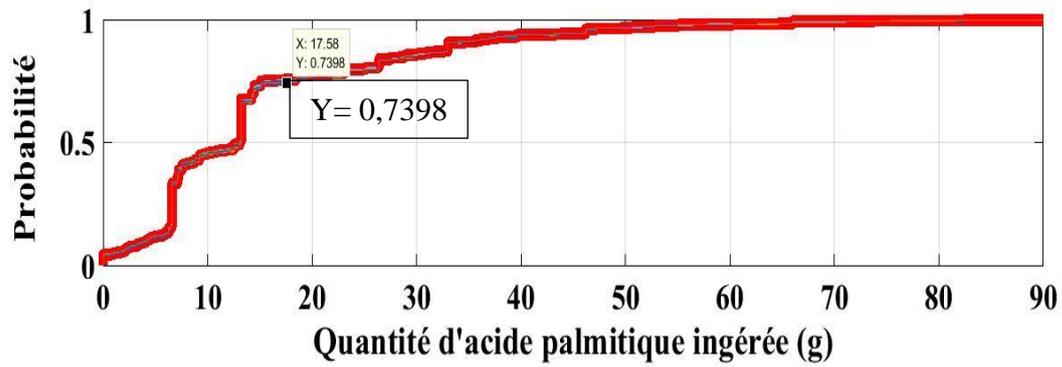


Figure 45: Risque d'hypercholestérolémie lié à 100 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile rouge

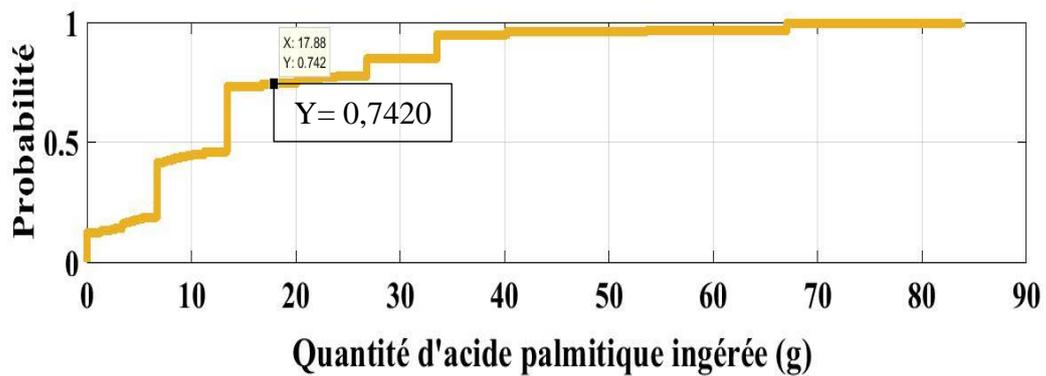


Figure 46: Risque d'hypercholestérolémie lié à 100 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile raffinée R1

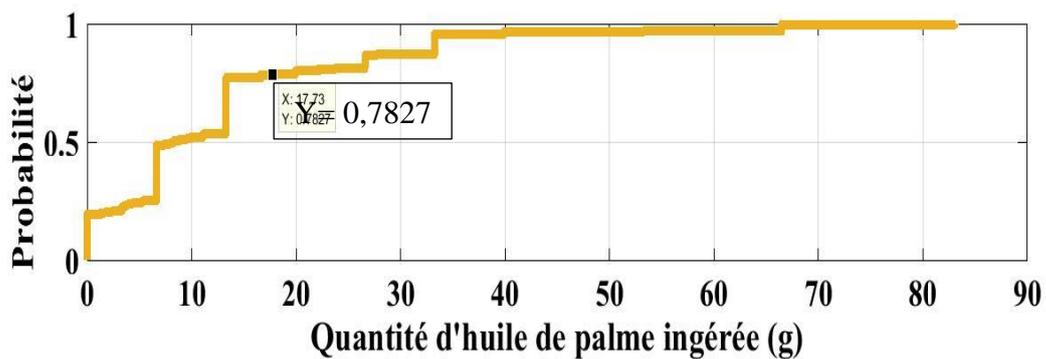


Figure 47 : Risque d'hypercholestérolémie lié à 100 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile raffinée R2

I.2.2. Évaluation du risque d'hypercholestérolémie lié à l'acide palmitique biodisponible à 11 %

Les risques d'hypercholestérolémie liés à l'ingestion des acides palmitiques contenus respectivement dans les huiles de palme rouge, raffinée de marques R1 et R2 à 11 % de biodisponibilité sont décrits par les **figures 48, 49 et 50**. Pour une biodisponibilité de l'acide palmitique à 11 %, le risque d'hypercholestérolémie lié à la consommation des huiles de palme est faible. Les probabilités positives, c'est-à-dire les proportions des populations ingérant des quantités d'acide palmitique à des taux inférieurs ou égaux à l'ANC sont de 100 %, 99,98 % et de 99,97 % respectivement pour la consommation des huiles de palme rouge et raffinée de marques R2 et R1. Ces proportions indiquent que pour 100000 habitants, soit la totalité ou 99970 à 99980 de ceux-ci n'observeront probablement pas une augmentation de leur taux de cholestérol sérique suite à la consommation des huiles de palme rouge et raffinée de marques R2 et R1. Toutefois, 20 à 30 personnes seraient exposées au risque d'hypercholestérolémie après consommation des huiles de palme raffinées R1 et R2.

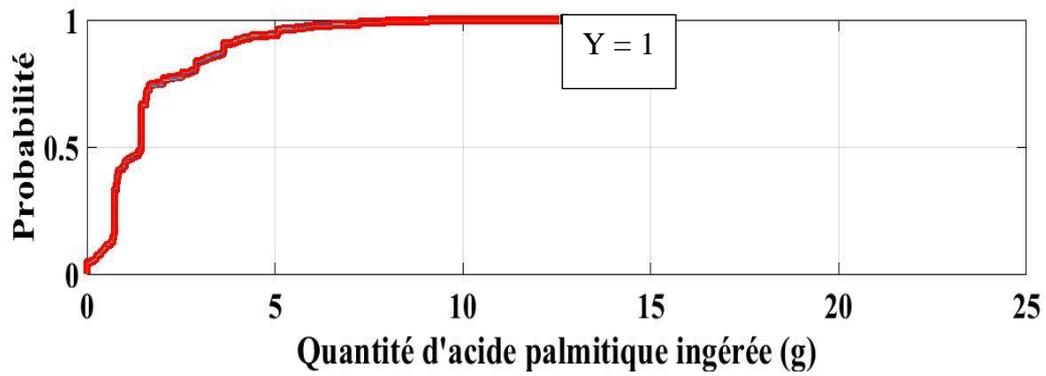


Figure 48 : Risque d'hypercholestérolémie lié à 11 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile rouge

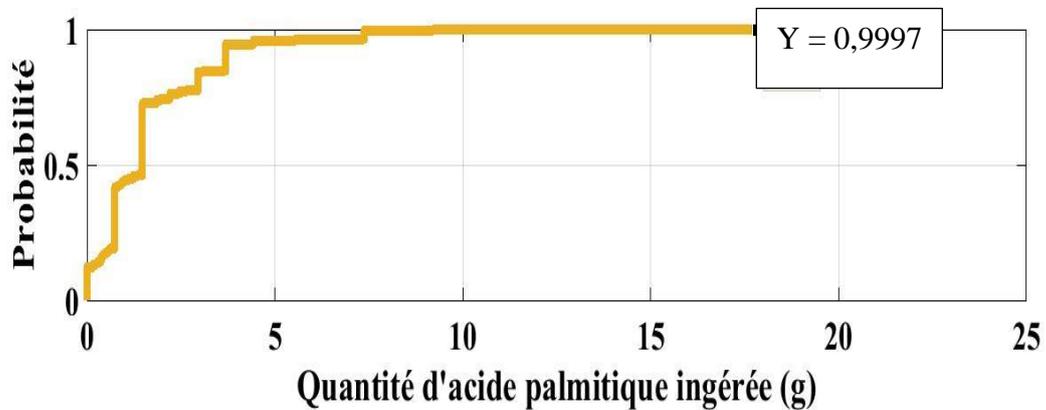


Figure 49 : Risque d'hypercholestérolémie lié à 11 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile raffinée R1

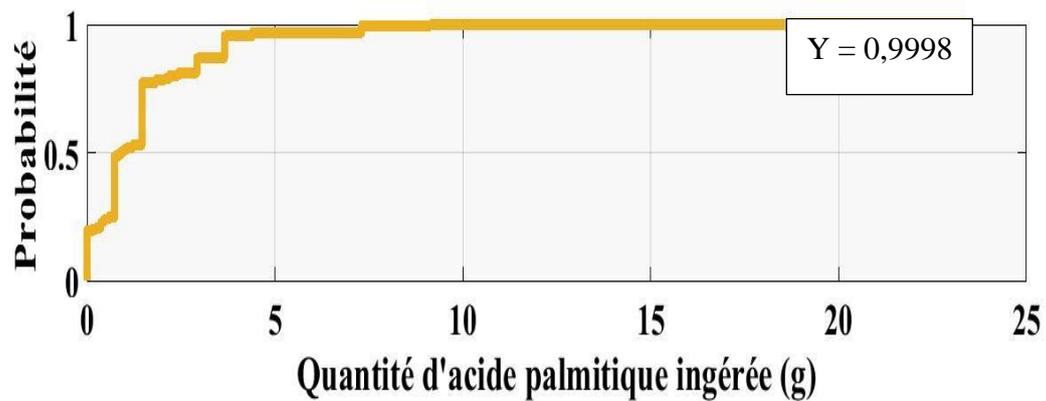


Figure 50 : Risque d'hypercholestérolémie lié à 11 % de biodisponibilité de l'acide palmitique : cas de l'huile raffinée R2

II. DISCUSSION

Les huiles et graisses sont très sujettes à la détérioration pendant le traitement, le transport, la commercialisation et le stockage sous diverses conditions (**Sohail et al., 2010**). Les pertes en provitamine A et en vitamine E des échantillons d'huiles de palme conservés et exposés avec les contenants protégés à l'aide de feuilles de papier aluminium sont plus faibles que ceux non protégés, car la protection extérieure réduit l'effet de dégradation de la lumière et des rayons solaires. L'exposition aux rayons solaires des huiles de palme rouge et raffinée durant la vente occasionne des pertes en provitamine A et en vitamine E estimées à plus de 40 % dès la première semaine d'exposition. En effet, la plupart des vitamines sont des composés très instables qui sont rapidement décomposés en raison de leur sensibilité à certains éléments tels que l'oxygène et les rayonnements solaires (**Vanbrabant, 2012**).

En outre, les huiles conservées dans les ménages maintiennent leurs propriétés nutritive et organoleptique. Au bout de quatre semaines, ces huiles de palme (rouge et raffinée) conservent toujours leurs facteurs de qualité c'est-à-dire leurs teneurs en acides gras libres et en peroxydes en dessous de la norme de la FAO (**FAO, 2010**). Cette norme indique que les teneurs en peroxyde et en acide gras libres des huiles de palme rouge et raffinée ne doivent pas excéder 10 à 15 meq O₂/Kg et 0,6 à 10 mg KOH/g. Celle-ci décrit une huile de bonne qualité organoleptique, c'est-à-dire exempte de saveur et d'odeur étrangère et de toute rancidité.

Également, les indices d'iode des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée protégées (76,85-80,55 g I₂/100 g) sont supérieurs à la norme fixée par la FAO qui varie de 50 à 56 g I₂/100 g. Ces indices d'iode attestent que les échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée protégées conservent leur qualité nutritive durant l'expérimentation en termes de teneur en acide gras insaturé. Par contre, les huiles de palme rouge et raffinées exposées aux rayons solaires subissent une dégradation rapide, sauf celles dont les contenants sont protégés avec des feuilles de papiers en aluminium.

Toutefois, la formation de peroxyde dans les échantillons d'huiles de palme non protégés est moins alarmante que ceux des échantillons d'huiles de tournesol. Selon les travaux de **Sohail et al. (2010)**, la teneur en peroxyde de l'huile de tournesol exposée au rayonnement solaire pendant cinq semaines était de 110,54 meq/kg. Cette différence de teneur en peroxyde serait due au fait que l'huile de tournesol contient plus d'acides gras insaturés. Généralement, la vitamine E protège les acides gras insaturés de l'effet d'oxydation (**Bührer-astfalk, 2011**). Cependant, la vitamine E contenue dans les huiles de palme subit une forte dégradation dès la première semaine d'exposition solaire. Ces pertes pourraient s'expliquer par le fait que la vitamine E, par son effet antioxydant, capte les radicaux libres

formés par l'oxydation des AGPI et AGMI due à l'action des rayons solaires. Ainsi, cette vitamine E oxydée n'est pas détectable pendant le dosage.

Les taux de provitamine A et de vitamine E restants après quatre semaines de conservation des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée protégés varient de 419,67 à 825,42 µg et de 8,10 à 12,41 mg respectivement en provitamine A et en vitamine E. Ces teneurs permettent de couvrir 55,96 à 110,06 % des besoins en vitamine A et de 54 à 69,40 % des besoins en vitamine E pour une personne consommant 22 à 23 g d'huile de palme rouge ou raffinée en moyenne. Les échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée non protégés contiennent 230,67 à 245,65 µg de provitamine A et de 3,18 à 5,45 mg de vitamine E après quatre semaines de conservation. Ces quantités de vitamines couvrent environ 30,76 à 32,75 % de besoins en équivalent rétinol et 21,20 à 36,33 % des besoins en vitamine E pour une consommation moyenne de 22 à 23 g d'huile de palme rouge ou raffinée.

Par contre, les échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée protégés exposés aux rayons solaires conservent 141,37 à 293,65 µg de provitamine A et 1,60 à 2,15 mg de vitamine E après les quatre semaines d'expérimentation. Ceux-ci permettent de couvrir environ 18,85 à 39,15 % de besoins en vitamine A et de 10,67 à 14,33 % des besoins en vitamine E pour un individu consommant 22 à 23 g d'huile de palme rouge ou raffinée par jour. Mais, pour les échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée exposés aux rayons solaires sans protection, les taux de provitamine A et de vitamine E après quatre semaines d'expérimentation sont respectivement de 23,84 à 36,10 µg et de 1,10 à 1,24 mg. Ces quantités couvrent 3,18 à 4,81 % des besoins en équivalent et 7,33 à 8,27 % des besoins en vitamine E pour une consommation de 22 à 23 g d'huiles de palme rouge et raffinée par jour.

Par ailleurs, des études de l'effet des éléments constitutifs des huiles de palme rouge et raffinée sur la santé des consommateurs ont permis de calculer les risques d'hypercholestérolémie liés à des biodisponibilités de 100 % et de 11 % de l'acide palmitique. Pour une biodisponibilité de 100 % de l'acide palmitique, environ 26,02 %; 25,80 % et 21,73 % des populations enquêtées ingèrent des quantités d'acide palmitique à des doses supérieures au taux recommandé par l'Anses au cours de la consommation des huiles de palme rouge et raffinée de marques R1 et R2. Soit, 26020, 25800 et 21730 cas de risque d'augmentation du taux de cholestérol sérique pour 100000 habitants après consommation de ces huiles. Cependant, en tenant compte du fait que seulement 11 % de l'acide palmitique des huiles de palme rouges et raffinées soient biodisponibles après leur ingestion, les risques d'hypercholestérolémie sont de 0 % pour l'huile de palme rouge et de 0,02 et 0,03 % respectivement pour les huiles de palme raffinée de marque R2 et R1.

En effet, les travaux effectués par **Berry (2009)** ont révélé que la totalité de l'acide palmitique (100 %) des huiles de palme est biodisponible suite à la consommation de celles-ci. Cette étude consistait à mimer l'apport alimentaire en palmitate chez l'homme. Il a conclu que l'acide palmitique présente la même digestibilité, les mêmes taux d'absorption et possède les mêmes effets sur les concentrations lipidiques plasmatiques quelle que soit sa position sur le triglycéride.

Cependant, selon **May et Nesaretnam (2014)**, la biodisponibilité de l'acide palmitique contenu dans l'huile de palme est fonction de la position de cet acide gras sur le triglycéride. Ces auteurs soulignent que dans l'huile de palme, 87 % des acides gras en position 2 sont Insaturés (acide oléique et acide linoléique), alors que seul 11 % de l'acide palmitique est en position 2. Or, la lipase pancréatique hydrolyse les acides gras en position 1 et 3, qui deviennent libres et peuvent former des savons en présence de calcium, ce qui en réduit l'absorption. Tandis que le 2-monoglycéride présente une meilleure biodisponibilité car il est absorbé tel quel.

Également, des travaux effectués plus récemment par **Couédelo et al. (2017)** ont justifié que plusieurs paramètres influençaient la biodisponibilité de l'acide gras. Ces recherches ont mis en évidence que plusieurs paramètres physiques et chimiques, tels que l'émulsification d'une huile, la position de l'acide gras sur le triglycéride alimentaire et la composition de la matrice alimentaire permettraient de moduler la biodisponibilité et le devenir métabolique de l'acide gras dans l'organisme. Cette étude a consisté à greffer un acide gras d'intérêt soit en position interne soit en position externe et à suivre le devenir de cet acide gras au cours de l'absorption et de la re-synthèse des triglycérides chez le rat. Cette expérience a permis d'observer que le niveau d'absorption entérocytaire des acides gras marqués était similaire, en termes de vitesse et de quantité relative, quelle que soit sa réiodistribution sur le triglycéride alimentaire.

Cependant, la répartition de ces acides gras dans les triglycérides lymphatiques et plasmatiques était différente selon la molécule considérée. Plus précisément, lorsque l'acide gras marqué était administré exclusivement en position interne, le maintien de la position représentait 50 % des triglycérides lymphatiques. A l'inverse, lorsque les acides gras d'intérêt étaient exclusivement greffés en position externe des triglycérides, moins de 10 % de ceux-ci étaient retrouvés en position sn2 des triglycérides lymphatiques. De même, dans l'alimentation actuelle, les lipides sont très souvent formulés et l'émulsification fait partie des procédés qui sont couramment utilisés en Industries Agro-Alimentaires.

L'émulsification des lipides permet de générer une interface huile/eau qui influence directement la digestion des lipides. La dispersion des lipides sous forme de gouttelettes lipidiques permet d'augmenter l'interface où s'adsorbent les enzymes lipolytiques et accélère la lipolyse gastro-intestinale lors de repas. Outre la structure moléculaire des lipides, l'influence de la matrice

alimentaire dans laquelle ils sont insérés revêt un intérêt particulier. En fonction de sa composition (nature des acides gras, présence d'antioxydants ou autre nutriments...), elle influence la biodisponibilité des nutriments (**Couédelo et al., 2017**).

Ces données indiquent qu'un nutriment ne peut être biodisponible à 100 % à la lumière lymphatique et plasmatique quel que soit le mode alimentaire. Ainsi, le risque d'hypercholestérolémie lié à l'ingestion de l'acide palmitique contenu dans les huiles de palme rouge et raffinées produites en Côte d'Ivoire est celle calculée à 11 % de biodisponibilité. Ces valeurs sont de 0, 0,03 et 0,02 % respectivement pour les huiles de palme rouge et raffinée R1 et R2. Ce risque d'hypercholestérolémie quasi nul est similaire aux résultats des travaux effectués par **Go et al. (2014)** en Coré. Ces examens in vivo chez des rats comparant les capacités hyperlipidémiantes des huiles de palme et de tournesol n'ont trouvé aucune différence significative au niveau de l'augmentation des taux de lipides sériques. Cette étude précise que l'huile de palme ne peut pas augmenter le risque de maladies cardiovasculaires causé par l'hyperlipidémie. Bien au contraire, cette expérience a montré une réduction du cholestérol total chez les rats ayant consommés l'huile de palme pendant 22 jours (**Go et al., 2014**).

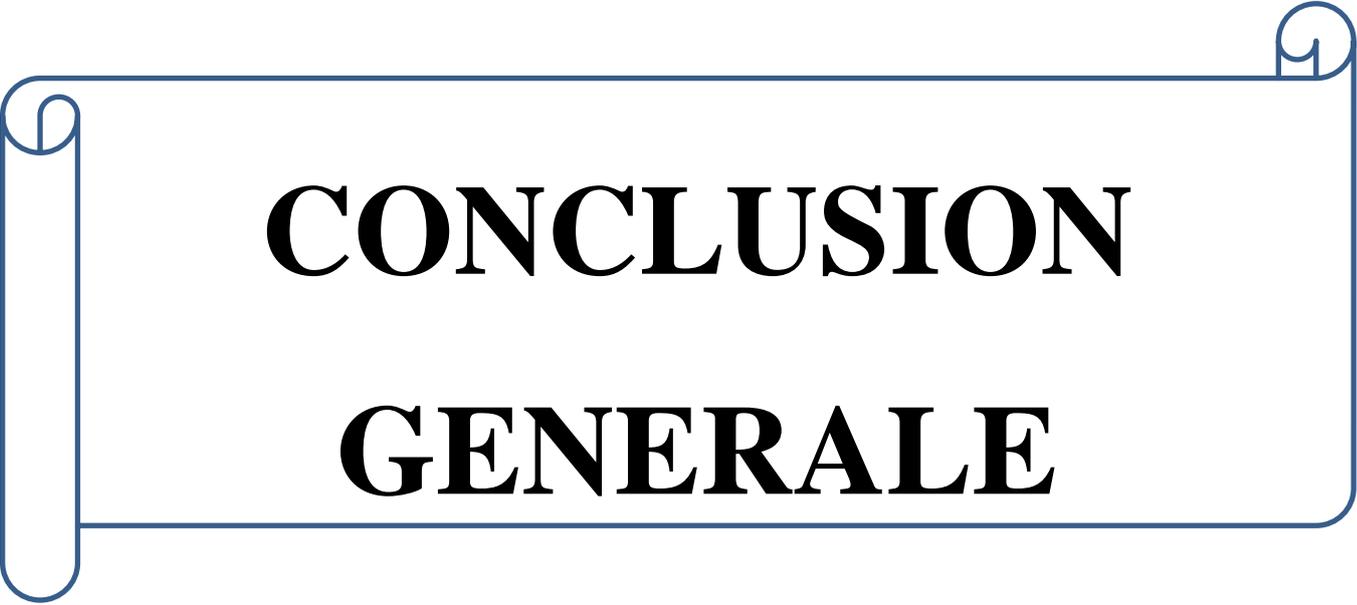
Dans leur ensemble les acides gras saturés consommés en excès augmentent le cholestérol LDL. En effet, l'action des AGS sur l'élévation du cholestérol total (C-LDL et C-HDL) est indéniable. Cet effet est variable selon les AGS, les plus hypercholestérolémiant étant, par ordre décroissant, l'acide myristique, l'acide laurique, l'acide palmitique et l'acide stéarique, ceci à dose égale (**Lecerf, 2016**).

En effet, l'huile de palme, en plus des acides gras saturés, a une teneur élevée en acides gras insaturés, notamment l'acide oléique (35,41 % à 50,58 %) qui est l'acide gras majoritairement présent dans l'huile d'olive (70 % d'acide oléique), donnant ainsi une image bénéfique à l'huile d'olive (**Lecerf, 2008**). Elle est aussi caractérisée par une teneur élevée en composés « mineurs », notamment en tocots (tocophérols et tocotriénols) en partie éliminés lors du raffinage et du chauffage. Selon **Rice et Burns (2010)**, l'huile de palme rouge (vierge) est l'aliment le plus riche en caroténoïdes et assure la couverture des besoins en vitamine A puisque le bêta-carotène est provitaminique (**Rice et Burns, 2010**). L'impact de la consommation de l'huile de palme sur les marqueurs de risque cardiovasculaire (cholestérol et lipoprotéines surtout), dépend des quantités consommées et du contexte nutritionnel (teneur en acide linoléique et en cholestérol de l'alimentation, apport lipidique total) (**Lecerf, 2013**).

III. CONCLUSION PARTIELLE

L'étude de l'évaluation bénéfique/risque a révélé que les huiles de palme rouges et raffinées constituent des sources importantes de nutriments tels que les acides gras saturés et insaturés, la provitamine A et la vitamine E. Cependant, la durée de conservation dans les ménages et l'exposition aux rayons solaires diminuent la qualité nutritive de ces huiles. Toutefois, les taux de provitamine A (230,67-825,42 μg) et de vitamine E (3,18-12,41 mg) au bout de quatre semaines de conservation des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée dans les ménages permettent de couvrir 30,76 à 110,06 % des besoins en vitamine A et environ 21,20 à 69,40 % des besoins en vitamine E pour un individu consommant 22 à 23 g d'huile de palme rouge ou raffinée par jour. Les teneurs en provitamine A et en vitamine E des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée exposés au rayonnement variant respectivement de 23,84 à 293,65 μg et de 1,10 à 2,15 mg, ne peuvent couvrir que 3,18 à 39,15 % des besoins équivalent rétinol et de 7,33 à 11,33 % des besoins en vitamine E pour une personne consommant en moyenne 22 à 23 g d'huile de palme rouge et raffinée par jour.

Par ailleurs, la simulation par la méthode de Monte Carlo à partir des distributions des variables a montré que pour une biodisponibilité de l'acide palmitique à 100 %, le risque d'hypercholestérolémie dû à la consommation des huiles de palme varie entre 21,73 et 26,02 %. Mais ce risque est compris entre 0 et 0,03 % à 11 % de biodisponibilité de l'acide palmitique. Ce risque reflète le mode de consommation des huiles de palme rouge et raffinée par les populations en Côte d'Ivoire. Il peut augmenter si ces populations changent de comportement alimentaire en augmentant les quantités d'huiles de palme utilisées pour la confection des mets ou en les consommant plus fréquemment.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and rounded corners on the top and right. The text is centered within this border.

CONCLUSION
GENERALE

Ce travail est une contribution à l'amélioration de la perception de l'huile de palme à travers l'approche bénéfice/risque en se servant d'enquête sociodémographique et alimentaire, d'analyses chimiques et biologiques.

Ainsi, l'enquête socio-démographique a montré que la population investiguée est en majorité âgée de 18-28 ans, constituée d'autochtones et d'allogènes. Cette population a une diversité alimentaire individuelle moyenne de 4,38 avec un profil alimentaire composé en moyenne de quatre groupes d'aliments différents. Les groupes d'aliments les plus consommés par cette population sont les épices, condiments, boissons (100 %); poissons et fruits de mer (93,95 %), huiles et graisses (93,83 %), les céréales (89,97 %), racines et tubercules blancs (87,27 %), et autres légumes (54,07 %). En outre, les différentes fréquences de consommation des huiles de palme rouge et raffinée désignent l'huile de palme rouge comme étant moins fréquente dans l'alimentation des populations enquêtées avec une fréquence journalière de 7,43 %. Par contre, les huiles de palme raffinées de marque R1 et R2 sont les plus présentes dans les mets de ces populations enquêtées avec des fréquences journalières respectives de 85,40 % et 77,72 %. La corrélation entre diversité alimentaire et la fréquence de consommation des huiles de palme rouge et raffinée par zone est comprise entre 7 et 12 %. Ceci confirme que la fréquence de consommation journalière des huiles de palme n'influence pas la diversité alimentaire de la population.

L'huile de palme rouge est en quantité moyenne (35,3 g) plus consommée par les personnes ayant 51 ans et plus. Mais, les individus âgés de 18 à 39 ans consomment plus les huiles de palme raffinées R1 et R2 à des quantités moyennes variant entre 24,19 et 30,69 g. En moyenne, les quantités d'huiles de palme rouge et raffinée consommées sont comprises entre 22 et 23 g par personne par jour.

Ensuite, l'étude de la caractérisation chimique des huiles et de la biodisponibilité *in vivo* chez des rats a révélé dans un premier temps que les teneurs en acides gras saturés (AGS) et insaturés (AGI) des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinée varient respectivement entre 41,21 et 54 % et 46,00 à 58,78 %. En outre, l'acide palmitique est présent dans les huiles de palme rouge et raffinée à des teneurs comprises entre 32,95 et 48,04 %. Les échantillons d'huile de palme rouge et raffinées prélevés dans les zones d'étude contiennent plus d' α -tocophérol, α -tocotriénol et de γ -tocotriénol. Les huiles de palme rouge de la région de Man ont des teneurs les plus élevées en α -tocotriénol (46,78 %) et en γ -tocotriénol (70,71 %) et celles de Yamoussoukro contiennent plus d' α -tocophérol (34,45 %). Les teneurs en provitamine A des huiles de palme rouge et raffinées sont comprises entre 7,68 et 150,01 mg ER/Kg. Les échantillons d'huiles de palme rouge de Man ont les taux les plus élevés en provitamine A (150,01 mg ER/Kg). L'étude de la biodisponibilité des composés chez les rats indique que les taux sériques en triglycérides augmentent avec le temps de digestion de l'huile de palme rouge

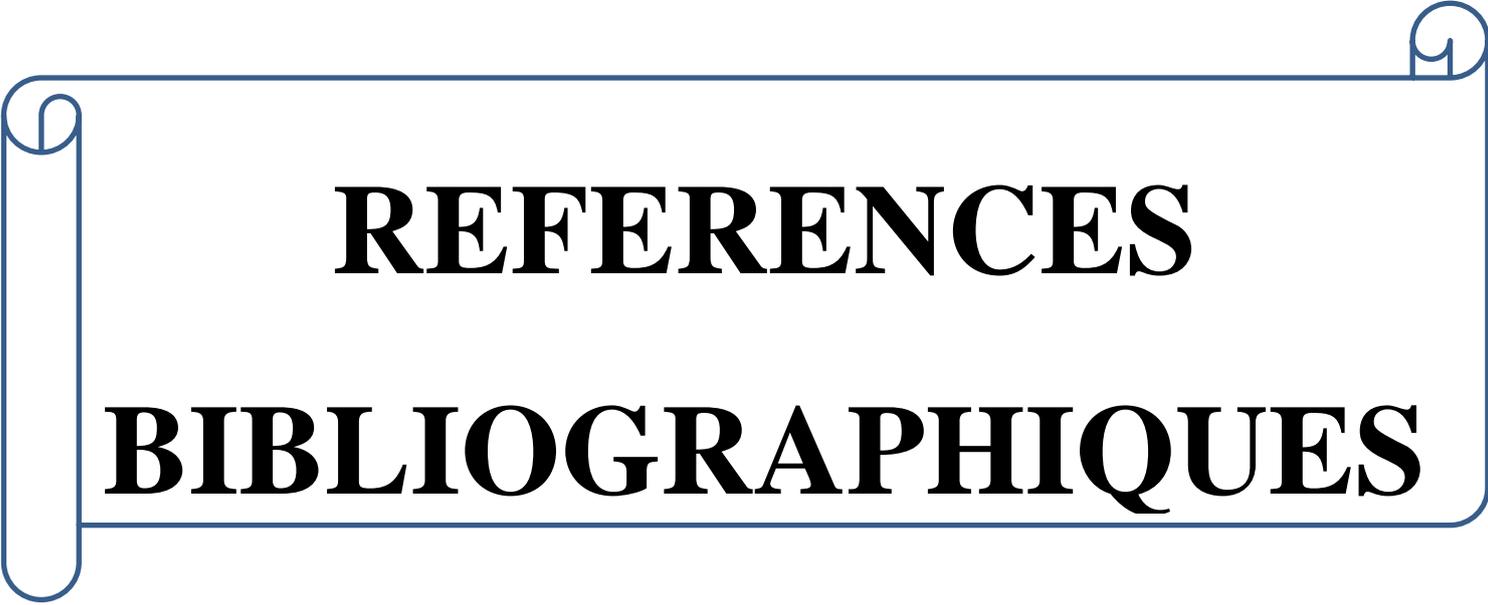
avec des taux variant de 0,17 à 10,41 g/L. Le taux de LDL cholestérol (0,01-1,71 g/L) au bout de 12 heures de digestion de l'huile de palme rouge est inférieur à la concentration décrivant un risque coronarien. La répartition de la vitamine E est plus représentative dans l'ensemble des organes étudiés, mais la vitamine A se retrouve en plus grande quantité dans le foie.

Par ailleurs, l'étude de l'évaluation bénéfique/risque a révélé que les huiles de palme rouges et raffinées constituent des sources importantes de nutriments tels que les acides gras insaturés, la provitamine A et la vitamine E. Cependant, la durée de conservation dans les ménages et l'exposition aux rayons solaires diminuent la qualité nutritionnelle de ces huiles. Toutefois, les taux de provitamine A variant de 23,84 à 825,42 µg et de vitamine E compris entre 1,10 et 12,41 mg au bout de quatre semaines de conservation ou d'exposition aux rayons solaires des huiles de palme rouge et raffinée permettent de couvrir 7,33 à 110,06 % des besoins équivalent rétinol et en vitamine E chez des individus consommant 22 à 23 g d'huile de palme rouge ou raffinée par jour. La simulation par la méthode de Monte Carlo à partir des distributions des variables a montré que pour une biodisponibilité de l'acide palmitique à 100 %, le risque d'hypercholestérolémie dû à la consommation des huiles de palme varie entre 21,73 et 26,02 %. Mais ce risque est compris entre 0 et 0,03 % à 11 % de biodisponibilité de l'acide palmitique. Ce risque reflète le mode de consommation des huiles de palme rouge et raffinée par les populations en Côte d'Ivoire. En effet, en tenant compte de l'Apport Nutritionnel conseillé en acide palmitique qui est de 17,77 g par jour, les huiles de palme rouge et raffinée produites en Côte d'Ivoire doivent être consommées respectivement à des quantités variant entre 37-54 g et 50-51 g par jour.

Comme recommandations, il est impératif de sensibiliser les commerçants à proscrire la vente des huiles de palme dans des conditions exposant ces produits directement aux rayons solaires. En outre, il est nécessaire que les industries de raffinages des huiles de palme indiquent sur les contenants : « à conserver à l'abri des rayons solaires ». De plus, la qualité des contenants des huiles de palme doit être améliorée afin de conditionner ces produits dans des contenants imperméables aux rayons solaires.

Pour des recherches avenir, il serait important d'effectuer une étude spécifique de la biodisponibilité des tocotriénols car ces isomères de vitamine E possèdent 40 à 60 fois plus d'activité antioxydante que l' α -tocophérol. Également, il serait capital de réaliser une étude de la biodisponibilité des acides gras saturés et insaturés après consommation de l'huile de palme. Concernant l'étude de la biodisponibilité des nutriments chez les rats, il serait plus pertinent d'utiliser la méthode de marquage, afin de suivre la cinétique exacte et les métabolites des nutriments. Aussi, faudra-t-il effectuer une

étude de la qualité sanitaire et nutritionnelle des huiles de palme rouge et raffinée vendues en détail dans des sachets plastiques.

A decorative border in a dark blue color, resembling a scroll. It has a vertical bar on the left side with a scroll-like end at the top and bottom. The top and bottom horizontal lines also have scroll-like ends at the corners.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Abu-Shahin F., Stone W., Ramsauer V., Krishnan K., 2013.** A summary of the prostate cancer prevention trials with a focus on the role of vitamin E, *Home Health Care Management et Practice*, 25(1), pp.23–28.
- Adam J., 1910.** Le palmier à huile, livre éd Augustin Challamal, 278 p.
- AFSCA (Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire), 2005.** Terminologie en matière d'analyse des dangers et des risques selon le Codex Alimentarius, rapport, 46 p.
- Aggarwal B.B., Sundaram C., Prasad S., Kannappan R., 2010.** Tocotrienols , the vitamin E of the 21st century : Its potential against cancer and other chronic diseases. *Biochemical Pharmacology*, 80(11), pp.1613–1631.
- Ahl A.S., Acree J.A., Gipson P.S., Mc Dowell R.M., Miller L., Mc Elvaine M.D., 1993.** Standardization of nomenclature for animal health risk analysis. *Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties*, 12, p.1045–1053.
- Aholoukpe H.N.S., 2013.** Matière organique du sol et développement du palmier à huile sous différents modes de gestion des feuilles d'élagage. Cas des palmeraies villageoises du département du Plateau au Bénin, 294 p.
- Ahoyo N., 2008.** Potentialités des filières Anacarde et Palmier à huile au Bénin. Rapport d'étude, SNV-Bénin, 81 p.
- Akram A.S., 2017.** Prise en charge de l'hypercholestérolémie dans la prévention cardiovasculaire par des produits naturels thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie en faculté des sciences pharmaceutiques et biologiques de Lille, 85 p.
- Albano O.P., 2002.** La connaissance des palmiers : culture et utilisation : les principales espèces utiles et ornementales pour jardins tempérés et tropicaux. Aix-en-Provence, Édusud. 359 p.
- Allain C.C., Poon L.S., Chan C.S.G., Richmond W., Fu P.C., 1974.** Enzymatic determination of total cholesterol. *Clinical Chemistry*, 20 : 470-475.
- Ambagna J.J., Dury S., 2016.** De la disponibilité à la consommation alimentaire : analyse des évolutions de la consommation alimentaire à l'échelle nationale et des ménages au Cameroun 10èmes Journées de Recherches en Sciences Sociales Paris, France 31 p.

- Anonyme 1, 2019.** Différentes parties du fruit du palmier à huile
<http://fr.mongabay.com/travel/malaysia/p23141p.html>, consulté le 25 mai 2019.
- Anonyme 2, 2019.** photographie de l'huile de palme rouge.
<https://www.istockphoto.com/fr/photos/huile-de-palme>, consulté le 03 février 2019.
- Anonyme 3, 1997.** Code zoo-sanitaire des épizooties de l'OIE. Analyse du risque à l'importation. ,
 141, pp.23–34.
- Anonyme 4, 2010.** Risques cancérogènes et/ou génotoxiques dans les denrées alimentaires:
 contaminants liés aux processus de transformation (dossier Sci Com 2007/09bis : auto-saisine).
 , pp.1–32.
- Anonyme 5, 2010.** Bootstrap Modeling: Beyond the Basics.
<http://www.casact.org/pubs/forum/10fforum/ShaplandLeong.pdf>. Consulté le 02 juillet 2018.
- Anonyme 6, 2010.** Bootstrap Method,
<http://www.math.ntu.edu.tw/~hchen/teaching/LargeSample/notes/notebootstrap.pdf>. Consulté
 le 21 mai 2018.
- Anonyme 7, 2015.** Enquête post récolte Finale sur la Diversité Alimentaire des Mères et des Enfants
 de 6-59 mois dans trois communes d'intervention du projet PADABA, 73 p.
- Anses, 2010.** Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'actualisation des
 apports nutritionnels conseillés pour les acides gras, 10 p.
- Anses, 2011.** Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'actualisation des
 apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. 2010, Saisine no 2006–SA–0359. Rapport
 d'expertise collective. Édition scientifique, rapport, 244 p.
- Aranceta J., Perez-Rodrigo C., 2012.** Recommended dietary reference intakes, nutritional goals and
 dietary guidelines for fat and fatty acids: A systematic review. *Brutanic Journal of Nutrition*,
 107, pp.S8–S22.
- Assidjo E., Sadat A., Akmel C., Akaki D., Elleingand E., Yao B., 2013.** L'analyse des risques :
 Outils innovant d'amélioration de la sécurité sanitaire des aliments. *Revue Africaine de Santé et
 de Productions Animales*, 11 (s), pp 10-11.

- Assmann G., Buono P., Daniele A., Della Valle E., Farinaro E., Ferns G., Krogh V., Kromhout D., Masana L., Merino J., 2014.** Functional foods and cardiometabolic diseases. International Task Force for Prevention of Cardiometabolic Diseases. *Nutrition Metabolic Cardiovasculaire Diseases*, 24, pp.1272–1300.
- Association Française de Normalisation (AFNOR), 1984.** Recueil de norme française des corps gras, graisses oléagineuses et produits dérivés- AFNOR 3^{ème} édition, Paris, 1-157.
- Association Française de Normalisation (AFNOR), 1995.** Norme française des corps gras d'origines animale et végétale - Analyse par chromatographie en phase gazeuse des esters méthyliques d'acides gras, Paris, 25 p.
- Aubreville A, 1937.** Les forêts du Dahomey et du Togo. *Bulletin du Comité d'Études Historique et Scientifique Africain Occidental*, 112 p.
- Audigie C.L., Dupont G., Zouszan F., 1984.** Principes des méthodes d'analyse biochimique. Livre, Edition Doin, tome 1, pp : 136-155.
- Awada M., 2013.** L'oxydation modifiée les effets métaboliques d'acides gras polyinsaturés de la série n-3 incorporés par différents vecteurs dans des régimes hyperlipidiques : contribution de l'absorption intestinale et de la réactivité cellulaire du 4-hydroxy-hexénoïque, Thèse de Doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon école doctorale interdisciplinaire sciences-santé, 210 p.
- Baranger C., Mathiaud J., 2012.** Méthode de Monte Carlo. <http://www.dfr.ensta.fr/Cours/docs/D11-2/coursMonteCarloENSTA>, 15 p, Consulté le 18 octobre 2012.
- Basu S., Babiarz, K.S., Ebrahim S., 2013.** Palm oil taxes and cardiovascular disease mortality in India: economic-epidemiologic model. *BMJ*, 347 p.
- Battaglia M., 2010.** Noyé dans l'huile de palme. L'explosion de la demande mondiale, le monde magazine no39, supplément au monde no 20336, 14 p.
- Berry S., 2009.** Triacylglycerol structure and interesterification of palmitic and stearic acid-rich fats: an overview and implications for cardiovascular disease., *Nutrition Research Review*, 22, pp. 3–17.
- Bester D., Esterhuyse A., Truter E., van Rooyen J., 2010.** Cardiovascular effects of edible oils: a comparison between four popular edible oils. *Nutrition Research Review*, 23, pp.334–348.

- Birringer M., Pfluger P., Kluth D., Landes N., Brigelius-Flohe R., 2002.** Identities and differences in the metabolism of tocotrienols and tocopherols in HepG2 cells. *Journal Nutrition*, 132, p.3113–3118.
- Bongard V., Ferrieres J., 2006.** Facteurs de risque cardiovasculaire et prévention. *La revue du praticien.*, 56(1), p.79–87.
- Bonnard R., 2001.** Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque. Rapport final de l'unité évaluation des risques sanitaires directions des risques chroniques., rapport, 79 p.
- Bonvallot N., Dor F., 2002.** Valeurs toxicologiques de références. Institut de Veille Sanitaire, Saint-Maurice Cédex, rapport, 84 p.
- Borel P., 2003.** Factors affecting intestinal absorption of highly lipophilic food microconstituents (fat-soluble vitamins, carotenoids and phytosterols). *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 41, pp.979–94.
- Borel P., Pasquier B., Armand M., Tyssandier V., Grolier P., Alexandre-Gouabau M. C., Andre M., Senft M., Peyrot J., Jaussan V., Lairon D., Azais-Braesco V., 2001.** Processing of vitamin A and E in the human gastrointestinal tract. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 280, pp.G95-103.
- Boulvert Y., 1986.** Carte phytogéographique de la République Centrafricaine (1/1.000.000e). Notice Explicative, ORSTOM.,104 p.
- Boyer A., 2010.** Design de nouveaux synthones dérivés de l'acide oléique: application à la synthèse de polyrétanes, thèse de l'école doctorale de sciences chimiques de l'université de Bordeaux, 201 p.
- Boyvin L., 2014.** Evaluation des micronutriments (vitamines A, E), profils hématologique et biochimique chez les personnes vivant avec le virus de l'immuno-déficience humaine Lydie, thèse en biologie fonctionnelle et moléculaire de l'université Félix Houphouët Boigny, 226 p.
- Bremner H.A., 2000.** Toward practical definitions of quality for food science. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), pp.83–90.
- Brown M.S., Goldstein J.L., 1980.** Multivalent feedback regulation of HMG CoA reductase, a control mechanism coordinating isoprenoid synthesis and cell growth. *Journal of Lipids*

Research, 21(5), pp.505–517.

Bruckert E., Le Goff W., 2018. Physiologie du métabolisme des lipoprotéines. *Medecine des Maladies Metaboliques*, 12(1), pp.50–61.

Bührer-astfalk, E., 2011. De la vitamine E ... et de l' utilité de la supplémentation, rapport, 4 p.

Burtein M., Selvenick H.R., Morfin R., 1970. Rapid method for the isolation of lipoproteins from human serum by precipitation with polyanion, *Journal of lipid research*, 11 : 583-595.

Cade J., Thompson R., Burley V., Warm D., 2002. Development, validation and utilisation of food- frequency questionnaires, *a review Public Health Nutrition*, 5: 567-587.

Caparros M., Laski L., Schellekens S., Marshall A., Singer A., Kaur A., Pienkowska W., Khatib-Maleh M., Barron S., 2007. Grandir en milieu urbain, état de la population mondiale, rapport de l'UNFPA (Fonds des Nations Unies pour la Population), 60 p.

Carriere F., Barrowman J.A., Verger R., Laugier R., 1993. Secretion and contribution to lipolysis of gastric and pancreatic lipases during a test meal in humans. *Gastroenterology*, 105(3), p.876—88.

Carrère R., 2010. Le palmier à huile en Afrique : le passé, le présent et le futur Mouvement Mondial pour les Forêts Tropicales. livre, Collection N° 15 du World Rainforest Movement (WRM) sur les Plantations, .70 p.

Cerf O., Sanaa M., Dufour B., Toma B., 1996. Nomenclature proposée pour l'analyse de risque en santé humaine et animale. *Epidémiologie et santé animal*, 30, p.35–43.

Chang T.Y., Chang C.C., Ohgami N., Yamauchi Y., 2006. Cholesterol sensing, trafficking, and esterification. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 22, pp.129–157.

Chatigre K.O., 2014. Etude comparée des huiles d'aiélé (*Canarium schweinfurthii*) et de palme (*Elaeis guineensis*) : caractérisation physicochimique, biochimique et nutritionnelle, thèse en biochimie-nutrition de l'université Félix Houphout Boigny N° 890, 170 p.

Chen B.K., Seligman B., Farquhar J.W., Goldhaber-Fiebert J.D., 2011. Multi-Country analysis of palm oil consumption and cardiovascular disease mortality for countries at different stages of economic development: 1980-1997. *Global Health*, 7, p.45.

Cheyens E., 2001. La consommation urbaine de l'huile de palme rouge en Côte d'Ivoire : quels

- marchés ? *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 8, pp.641–5.
- Clayton W.D., 1961.** Derived savanna in Kabba Province. *Nigeria Journal of Ecology*, 49: 595-604.
- Clayton D., Hills M., 1993.** Statistical Models in Epidemiology Oxford University Press, ISBN13: 978-0-19-852221-8, 367 p.
- CNN, 2015.** Conseil National pour la Nutrition. Analyse de la situation nutritionnelle en Côte d'Ivoire, rapport, 78 p.
- Cochard B., Adon B., Kouamé K.R., Durand-Gasselin T., Amblard P., 2001.** Intérêts des semences commerciales améliorées de palmier à huile (*Elaeis guineensis Jacq.*), *Oilseeds & fats Corps Lipids*; 8 : 654–658.
- Cochard B., Amblard P., Durand-Gasselin T., 2005.** Oil palm genetic improvement and sustainable development. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 12(2), pp.141–145.
- Codex Alimentarius Commission, 1999.** Principles and guidelines for the conduct of microbial risk assessment, CAC/GL-30 FAO edition, Rome, rapport 1 p.
- Codex Alimentarius, 2003.** Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment, Roma FAO, rapport 15 p.
- Codex Alimentarius, 2007.** Principes de travail pour l'analyse des risques en matière de sécurité sanitaire des aliments destinés à être appliqués par les gouvernements Codex Alimentarius, Roma, p.5.
- Colombo M.L., 2010.** An update on vitamine E, tocopherol and tocotrienol-perspectives. *Molecules*, 2103–2113, 15 pp.
- Corradini M.G., Peleg M., 2006.** Prediction of vitamins loss during non-isothermal heat processes and storage with non-linear kinetic models. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 24-34.
- Corley R.H.V., 1976.** The genus *Elaeis*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, pp : 3-5.
- Cottrell R.C., 1991.** Introduction: nutritional aspects of palm oil. *American Journal Clinical Nutrition*, 989S–1009S, 53(4) p.
- Couédelo L., Termon A., Vaysse C., 2017.** Matrice lipidique et biodisponibilité de l'acide alpha-

- linoléique. *Oilseeds and fats Crops and lipids*, 24(2), p.D204.
- Courtois F., Mohammad Ziaifar A., Trezzani I., Trystram G., 2012.** Friture profonde : les interactions huile-produit. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 19(2) : 89-95.
- Crepet A., 2007.** Statistique Bayésienne et Monté-Carlo de second ordre pour l'évaluation des risques microbiologiques. Le cas de *Listeria monocytogenes* dans les produits de quatrième gamme. Thèse de doctorat de l'institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, 223 p.
- Crépet A., Tressou J., 2011.** Bayesian nonparametric model for clustering individual co-exposure to pesticides found in the French diet. *bayesian analysis*, 6(1), pp.127–44.
- Cuvelier M., Maillard M.-N., 2012.** Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage, *Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*, 19(2), pp.125–132.
- Cyupers K., Lebacq T., Bel S., 2015.** Introduction et méthodologie. Dans : Lebacq T, Teppers E., Enquête de consommation alimentaire 2014-2015. Rapport 1. WIV-ISP, Bruxelles, 406 p.
- Damien B., 2014.** Effet du statut en vitamine A sur la voie d'action des glucocorticoïdes et impact sur les processus mnésiques chez le rongeur Damien, thèse de doctorat en sciences de la vie et de la santé de l'université de Bordeaux, 266 p.
- Deaton A.S., Muellbauer J., 1980.** An almost ideal demand system. *American Economic Review*, 323–326, 70, p.
- Delacharlerie S., Poncelet C., Chene C., Sindic M., 2011.** Se faire une opinion sur l'huile de palme: éléments de compréhension, *Food Science & Law*, 8 p.
- Deng T.H., 2011.** Extraction et mise en forme (en liposomes) de phospholipides issus d'un co-produit par voie supercritique, 39 p.
- Déré K., Djohan Y. F., Koffi K. G., Manhan K., Niamké A. G., Tiahou G. G., 2016.** Individual dietary diversity score for diabetic and hypertensive patients in Cote d'Ivoire. *International Journal of Nutrition*, 1(4), pp.25–34.

- Desmarchelier C., Tourniaire F., Nowicki M., Bott M., Borel P., 2014.** La variabilité génétique qui module la biodisponibilité de la vitamine E peut-elle expliquer l'hétérogénéité des effets biologiques observés suite à la supplémentation en vitamine E? *Nutrition clinique et métabolisme*, 28 : pp.S29–S65.
- De Oliveira O., Mozaffarian D., Kromhout D., 2012.** Dietary intake of saturated fat by food source and incident cardiovascular disease: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 96 : p.397–404.
- De Saint Pol T., 2008.** La consommation alimentaire des hommes et des femmes vivant seuls. Rapport Insee., 1194 p.
- De Saint Pol T., 2009.** Déterminants sociaux et culturels de l'alimentation. *Economics & Human Biology*, 7:398-404.
- Devillers P., Thébault J., Mathellier B., Jadeau L., Labau M.P., Joly X., Bosque F., Badey L., Jolibert F., 2010.** Huiles végétales : guide d'aide à l'application des meilleures technologies disponibles (MTD). Guide d'éco-conception et valorisation. 73 p.
- Diomande M., 2007.** Amélioration de la stabilité de l'oléine filtrée. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des Techniques Agricoles (I.T.A) option Agro-industrie, 73 p.
- Directive 88/344/EEC of 13 June 1988.** The approximation of the laws of the Member States on extraction solvents used in the production of foodstuffs and food ingredients 1p.
- Djohan Y.F., 2017.** Influence d'un régime riche en huile de palme sur le statut antioxydant, la fonction mitochondriale et les désordres métaboliques associés à l'obésité? thèse en Sciences Chimiques et Biologie pour la Santé de doctorat à l'université de Montpellier en co-tutelle avec l'université Félix Houphouët Boigny, 312 p.
- Do E., 2002.** Palm oil: biochemical, physiological, nutritional, hematological, and toxicological aspects: *a review Plant Foods Human Nutrition*, 57(3–4), pp.319–41.
- Doumbia F., 1966.** Étude des Forêts de Basse Casamance au sud de Ziguinchor. *Annale de la Faculté des Sciences Dakar*, 19: 61-100.

- Downs J.R., Clearfield M., Weis S., Whitney E., Shapiro D.R., Beere, P.A., 1998.** Primary prevention of acute coronary events with lovastatin in men and women with average cholesterol levels: results of AFCAPS/TexCAPS. Air Force/Texas Coronary Atherosclerosis Prevention Study. *JAMA*, 279, pp.1915–46.
- Dragsted L.O., Strube M., Larsen, J.C., 1993.** Cancer-protective factors in fruits and vegetables: biochemical and biological background. *Pharmacology & Toxicology*, 72(1), pp.116–135.
- Dubresson A.I., 1989.** Urbanisation et consommation alimentaire citadine en Côte d’Ivoire, 190(1), pp.3–8.
- Durand-Gasselin T., Cochard, B., 2005.** Oil palm seed distribution. *Oléagineux Corps Gras Lipides*, 12(2), pp.148–153.
- Dupin H., Cuq J., Malewiak M.I., Leynaud-Rouaud C., Berthier A.M., 1992.** Alimentation et nutrition humaines, Edition ESF. Paris, 701-18p, 1533.
- Efron B., 1979.** Bootstrap methods : Another Look at the Jackknife. *The Annals of Statistics*, 7(1): 1-26.
- EFSA (Autorité Européenne de Sécurité des Aliments)2006.** Risk-benefit analysis of foods: methods and approaches. In: EFSA Colloquium 6: Risk-benefit analysis of foods: methods and approaches, (province of Parma), Italy, 157 p.
- EFSA (Autorité Européenne de Sécurité des Aliments), 2010.** Guidance on human health risk-benefit assessment of foods. In: EFSA Scientific Committee. *EFSA Journal, Parma, Italy*, 8(7): p.1673.
- EFSA (Autorité Européenne de Sécurité des Aliments), 2015.** Scientific opinion on Dietary Reference Values for vitamin A. Panel on Dietetic Products, *Nutrition and Allergies*, 13(3): p.4028.
- EFSA (Autorité Européenne de Sécurité des Aliments), 2016.** Risks for human health related to the presence of 3- and 2 monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food, 159 p.

- Egeghy P.P., Cohen Hubal E.A., Tulse N.S., Melnyk L.J., Morgan M.K., Fortmann R.C., Sheldon L.S., 2011.** Review of pesticide urinary biomarker measurements from selected US EPA children's observational exposure studies. *International Journal of Environment Research Public Health*, 8(5), p.1727–54.
- Eitenmiller R., Lee J., 2004.** Vitamin E: Food Chemistry, Composition, and Analysis, Marcel Dekker, livre, 540 p.
- FAO/WHO, 1995.** Application of risk analysis to food standards Mycobacterium paratuberculosis via pasteurized milk: A issues. Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation. Modeling approach. Vet. Rec. WHO, Geneva. WHO/FNU/FOS/ 95 p. Consulté le 26/07/2017.
- FAO, 2010.** Annexe II : avant-projet de norme pour les huiles végétales portant un nom spécifique., 1 p. Consulté le 29/10/2018
- Faostat, 2017.** faostat.fao.org. , p.1p. Consulté le 15/08/2019.
- Fattore E., Bosetti C., Brighenti F., 2014.** Palm oil and blood lipid-related markers of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis of dietary intervention trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99, pp.1331–50.
- Fattore E., Fanelli R., 2013.** Palm oil and palmitic acid: A review on cardiovascular effects and carcinogenicity. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64: 648–659.
- Feintreniel L., Chong W.K., Levang, P., 2010.** Why do farmers prefer oil palm? Lessons learnt from Bungo district, Indonesia, *Small-scale Forestry* 9(3): 379-396.
- Flachaire E., 2003.** Méthodes de Simulations. <http://www.vcharite.univ-mrs.fr/pp/flachaire/teaching/notes.pdf>. Consulté le 18 mars 2017, 128 p.
- Fox T.A., Heimendinger J., Block G., 1992.** Telephone surveys as a method for obtaining dietary information. , 92, pp.729–732.
- Frank J., Wei X., Chin D., Schrader C., Eckert G.P., Rimbach G., 2012.** Do tocotrienols have potential as neuroprotective dietary factors ? *Ageing Research Reviews*, 11(1), pp.163–180.
- Giezendanner F.D., 2012.** Taille d'un échantillon aléatoire et Marge d'erreur - CMS-SPIP. , pp.1–22.
- Go R-E., Hwang K-A., Kim Y-S., Kim S-H., Nam K-H., Choi K-C., 2014.** Effects of Palm and

- Sunflower Oils on Serum Cholesterol and Fatty Liver in Rats. *Journal of Medicinal Food*, 00 (0) 2014, 1–7.
- Goh S.H., Choo, Y.M., 1985.** Minor constituents of palm oil. *Journal of American Oil Chemistry*. , p.62(2): p. 237-40.
- Gomes T.A., Gu X., Brownmiller C.R., Howard L., Compadre C.M., Lee S., 2015.** Effects of Tocols Rich Fraction Isolated from Rice Bran Oil Deodorizer Distillate on Plasma and Hepatic Lipid Concentrations in Rats. *Journal of Biosciences and Medicines*, 3(September), pp.1–8.
- Graille J., 2003.** Lipides et corps gras alimentaires, Edition Lavoisier Paris, 469 p.
- Graillet V., 2012.** Appréciation quantitative de l'exposition alimentaire à des mélanges de pesticides et mécanismes de génotoxicité, thèse de doctorat en pathologie, toxicologie, génétique et nutrition de Université Toulouse, 105 p.
- Guillaume-Gentil A., Zhang S.G., Yanchun M., Branko D.B., 2016.** Huile de palme, conférence des nations unies sur le commerce et le développement, 21 p.
- Guy-grand B., 2017.** Dernière minute. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 9960(17), pp.30029–9.
- Hartley C.W.S., 1977.** The oil palm *Elaeis guineensis jacq.* Tropical Agriculture; serie 2. 1. P. 806.
- Hartley C.W.S., 2015.** Norme pour les huiles végétales portant un nom spécifique. Adoptée en 1999. Amendement: 2005, 2011, 2013, 2015. Révision: 2001, 2003, 2009 ? normes alimentaires du Codex Alimentarius, 14 p.
- Horowitz J.L., 2001.** The bootstrap. In : Handbook of Econometrics Volume 5. Heckman J.J. Leamer, E. Livre édition Elsevier Science, Amsterdam, Hollande, 3160-3223.
- Houkpatin A.W., 2011.** Evaluation du potentiel de couverture des besoins en vitamine A des jeunes enfants à partir des sauces accompagnant les aliments de base consommés au Bénin, thèse de doctorat en sciences des procédés, sciences des aliments de l'université de Pmonpellier 2, 266 p.
- Houssaini S.C., 2015.** La fortification de l'huile raffinée par les vitamines A et D3., projet de fin de cycle en génie chimie de l'université sidi Mohamed ben Abdellah, ville de Fès, au Maroc 31 p.
- Hoyle D., Levang P., 2012.** Le développement du palmier à huile au cameroun, rapport du World Rainforest Movement (WRM), édition N° 165 April 2011, Mbongo, Cameroun, 16 p.

- Huber C., 2006.** Une méthode de rééchantillonnage : le bootstrap. http://www.biomedicale.univ-paris5.fr/survie/enseign/cours_bootstrap 17 p, Consulté le 18 mars 2018.
- IPCS (International Programme on Chemical Safety), 2004.** IPCS Risk assessment terminology. Geneva, Switzerland, 122 p.
- Iyabano A.H., 2013.** Analyse socio-économique de la filière artisanale d'huile de palme dans la région de la Sanaga-Maritime (Cameroun). Mémoire de master en Développement Durable et Aménagement : IAMM/Montpellier SupAgro/Université de Montpellier III, 87 p.
- Iyabano A., Feintrenie L., 2014.** Plantations villageoises de palmier à huile et huile de palme artisanale au Cameroun, Rapport du CIRAD, Montpellier, Paris 36p.
- Jacquemard J-C., 2012.** Le palmier à huile, livre, p. 240.
- Johnson R., Driscoll P., Goran M.I., 1996.** Comparison of multiple-pass 24-hour recall estimates of energy intake with total energy expenditure determined by the doubly labeled water method in young children, *Journal Dietetic Association*, 92, pp.1140–1144.
- Johnston L.G., Sabin K., 2010.** Échantillonnage déterminé selon les répondants pour les populations difficiles à joindre, *Methodological Innovations Online*, , p.5(2), 38-48.
- Kabagambe E.K., Baylin A., Ascherio A., Campos H., 2005.** The type of oil used for cooking is associated with the risk of nonfatal acute myocardial infarction in Costa Rica. *Journal Nutrition*, 135, p.2674–9.
- Kannel W.B., Gordon T., Schwartz M.J., 1971.** Systolic versus diastolic blood pressure and risk of coronary heart disease. The Framingham study. *American journal cardiology*, 27, p.335–46.
- Karmowski J., Hintze V., Kschonsek J., Killenberg M., Böhm V., 2015.** Antioxidant activities of tocopherols / tocotrienols and lipophilic antioxidant capacity of wheat , vegetable oils , milk and milk cream by using photochemiluminescence. *Food chemistry*, 175, pp.593–600.
- Kennedy G., Ballard T., Dop M.C., 2013.** Guide pour mesurer la diversité alimentaire au niveau du ménage et de l'individu, guide FAO, 56 p.
- Konan K.E., Koné B., Adon N.B., Diabaté S., Koutou A., Ballo K, 2008.** Bien cultiver le palmier à huile en Côte d'Ivoire. Fiche palmier n°1. Eds Centre National de Recherche Agronomique

- (CNRA), Centre Technique de coopération Agricole et rurale (CTA), 4 p.
- Kouakou C.K., Adébo K.T., 2015.** L'emploi des jeunes en Côte d'Ivoire Une étude diagnostique, rapport 40 p.
- Kouakou N. D. V., Kouassi K. A., Angbo-Kouakou M. C. E., Ahougo D. Y., Phoé J., Adima A. A., 2017.** 'Indication géographique de l'huile de palme de " Man " (district des montagnes-Côte d'Ivoire) : une analyse comparative des propriétés physico-chimiques et profils en acides gras de quelques huiles de palme rouge artisanales Ivoiriennes', *European Scientific Journal*, 13(18), pp. 373–385.
- Kouassi B.S.T., N'Goran P., Anon B., Foto M., Assi Y., Daouda S., Gbané M., Niamien G. R., 2013.** Enquête sur la vulnérabilité alimentaire en milieu urbain : cas de la ville d'Abidjan, rapport 57 p.
- Koundouno J., Ferrand P., Thouillot F., Camara K., 2012.** Enjeux de la filière huile de palme en République de Guinée. Rapport de Grain de sel n° 58-avril-juin 2012, 36-38 p.
- Kraus A.L., 1980.** Research methodology, in Baker H. J., Lindsey J. R., Weisbroth S. R., the Laboratory Rat. New York, *Academic Press.*, 2, pp.1–30.
- Kubikova L., Kosicka K., Holcikova P., 2006.** Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 252-276.
- Landrier J.F., Gouranton E., Reboul E., Cardinault N., El Yazidi C., Malezet-Desmoulin C., 2010.** Vitamin E Decreases Endogenous Cholesterol Synthesis and Apo-AI-Mediated Cholesterol Secretion in Caco-2 Cells. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 21, p.1207–1213.
- Landrier J.F., 2011.** Vitamine E et physiologie du tissu adipeux. , *Oléagineux Corps gras Lipides*; 18 : 83–87.
- Lane M.A., Bailey S.J., 2005.** Role of retinoid signalling in the adult brain. *Program of Neurobiology*, 75, p.275–293.
- Lawn J., Harvey D., 2003.** La nutrition et la sécurité alimentaire à Kugaaruk , au Nunavut, Enquête de référence pour le projet-pilote lié au programme Aliments-poste, 145 p.
- Lebres E.A., 2006.** Etude de prévalence et analyse du risque de *Listeria Monocytogènèse* dans les

- laits crus dans la région du centre. Thèse doctorale en sciences vétérinaires option microbiologie. Institut des sciences vétérinaires, centre universitaire d'El Tarf d'Algérie, 187 p.
- Lecerf J.-M., 2008.** Acides gras et maladies cardiovasculaires de l'épidémiologie à la pratique clinique , Centre de Recherche et d'Information Nutritionnelles, Paris, 6 p.
- Lecerf J., 2011.** Dossier thématique Les huiles végétales : particularités et utilités Correspondance : Dossier thématique. *Médecine des Maladies Métaboliques*, 5(3), pp.257–262.
- Lecerf J., 2013.** L'huile de palme : aspects nutritionnels et métaboliques Role sur le risque cardiovasculaire, *Oilseeds & fats Corps and Lipids*, p.13 p.
- Lecerf J., 2016.** Dossier thématique Lipides : regards sur la physiologie , la diététique et la thérapeutique Acides gras saturés et risque cardio-métabolique. *Médecine Maladies Métaboliques*, 10(5), pp.421–429.
- Lecerf J.M., 2017.** L'huile de palme. *Médecine Maladies Métaboliques*, 11(4), pp.347–352.
- Lecleire S., 2008.** Digestion et absorption des nutriments, *cahier de nutrition et de diététique*, 43, 45-50.
- Lefèvre C., 2015.** L'huile de palme : ses effets sur la santé et l'environnement Enquête auprès de la population française. Faculté de Médecine et de Pharmacie 2015; Université de Poitiers Faculté, 77 p.
- Legrand P., 2007.** Les gras: structure, fonctions, apports nutritionnels conseillés. *Cahier Nutrition Diététique*, 42, pp.7–12.
- Le Guillou A., 2007.** Réduction de la teneur en acides gras trans dans la technologie biscuitière, La démarche recherche et développement de la société LU ?, *Cahier Nutrition et Diététique*, 42 : 5, 15 p.
- Leskova, Kubikova, Kovacikova, Kosicka, Porubska, Holcikova, 2006.** Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 252-276.
- Le Testu G., 1938.** Note sur la végétation dans le bassin de la Nyanga et de la Ngounyé au Gabon. Mémoire Social Linnéenne de Normandie, Botanique, 4 83-108.
- Letouzey R., 1978.** Notes phytogéographiques sur les Palmiers du Cameroun. *Adansonia*, 18: 293-

- Levang P., 2012.** Le développement du palmier à huile au Cameroun: entre accaparements massifs, agro-industries, élites et petits planteurs. Journée Palmier CIRAD, IRD, CIFOR, rapport, 31 p.
- Lombard P., 2017.** La vérité sur l'huile de palme. L'huile de palme a mauvaise presse du fait de ses graisses saturées. Pose-t-elle vraiment des problèmes de santé ?, rapport 1 p.
- Maden M., Hind, M., 2003.** Retinoic acid, a regeneration-inducing molecule. *Developmental Dynamics*, 226, pp.237–244.
- Marckmann P., Grønbaek M., 1999.** Fish consumption and coronary heart disease mortality. A systematic review of prospective cohort studies. *European Journal of Clinical Nutrition*, 53, p.585–590.
- Matallah A.A., 2006.** Marché mondial des oléagineux. Thèse de l'Institut National Agronomique d'Alger, Thèse online 1p.
- May C., Nesaretnam K., 2014.** Research advancements in palm oil nutrition. *European Journal of Lipids Sciences and Technology*, 116, pp. 1301–15.
- McMeekin T., Olley J., Ross T., Ratkowsky D., 1993.** Predictive Microbiology : theory and application, résumé, 2 p.
- Méhul P., Weinman S., 2013.** Biosynthèse du cholestérol. Toute la biochimie. Livre, p320.
- Mondé A.A., Michel F., Carbonneau M., Tiahou G., Vernet M.H., Duvernay-Eymard B., Adon B., Konan E., Cristol J.P., Sess, D., 2008.** Teneur en acides gras et en antioxydants de l'huile de palme en Cote D' Ivoire. *Pharmacopée et Médecine Traditionnelle Africaines*, 15, pp.11–17.
- Monde A., Carbonneau M.A., Diabate S., Konan E., Sess D., Cristol J.P., 2010.** Effets des extraits polyphénoliques d'huiles de palme dans l'oxydation *in vitro* des LDL par le cuivre, 11(1): 47-56.
- Monde A. A, Camara-Cisse M., Konan G., Coulibaly I., Adeoti M., Gauze-Gnagne-Agnero C., Djohan F., Emien K. S., Niamke G., Hauhouot-Attoungbre M-L., 2017.** Effects of Palm Oil Consumption on Lipidic and Lipidoproteinic Profiles in Patients Suffering from Ischemic Heart Pathologies, *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 6(1): 6-11.

- Morin O., Pagès-Xatart-Parès X., 2012.** Huiles et corps gras végétaux : ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel , *Oilseeds & fats Corps and Lipids*, 19(2), pp.63–75.
- Moutoula B.E., Mananga V., Elenga M., Kinkela T., 2016.** Etude des habitudes alimentaires des ménages de Brazzaville en vue de la lutte contre la carence en vitamine A. *Journal of Applied Biosciences*, 97, pp.9174–9186.
- Müller L., Theile K., Böhm V., 2010.** In vitro antioxidant activity of tocopherols and tocotrienols and comparison of vitamin E concentration and lipophilic antioxidant capacity in human plasma, *Molecular Nutrition & Food Research*, 54(5), pp.731–742.
- Multon J., Davenas J., 1994.** La qualité des produits alimentaires, in La qualité des produits alimentaires: politique, incitations, gestion et contrôle , pp.1–59.
- National Académie des Sciences, 1983.** Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion, Lavoisier Tec&Doc, Paris, rapport, 42 p.
- N'Deye A.K., 2001.** Etude de la composition chimique et de la qualité d'huiles végétales artisanales consommées au Sénégal. Thèse pour l'obtention du titre de Docteur en Pharmacie, Université Cheik Anta Diop (UCAD) de Dakar (Sénégal). , p.99.
- Nauta M.J., 2001.** A modular process risk model structure for quantitative microbiological risk assessment and its application in an exposure assessment of *Bacillus cereus* in a REPFED. National Institute of Public Health and the Environment: Bilthoven, rapport 100 p.
- Nchanji Y.K., Tataw O., Nkongho R.N., Levang P., 2013.** Artisanal Milling of Palm Oil in Cameroon. Working Paper 128. Bogor, Indonesia: CIFOR, rapport 33 p.
- N'dri-Yoman, 2014.** Politique nationale de prévention et de prise en charge des maladies chroniques non transmissibles en Côte d'Ivoire. Rapport du Ministère de la Santé et de la Lutte contre le SIDA, 30 p.
- Nicolas D., 2009.** Analyse des risques appliquée sur les contaminants. Service de la sécurité des aliments. La sécurité dans mon assiette, rapport 128 p.
- Nodichao L., 2008.** Biodiversité racinaire, absorption potassique et résistance à la sécheresse chez le palmier à huile au Bénin, Thèse Université Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire, 346 p.

- Nougadere A., Reninger J.C., Volatier J.L., Leblanc J.C., 2011.** Chronic dietary risk characterization for pesticide residues: a ranking and scoring method integrating agricultural uses and food contamination data. *Food Chemical Toxicology*, 49(7), p.1484–510.
- Odia O.J., Ofori S., Maduka O., 2015.** Palm Oil and the heart: A review. *World J. Cardiol*, 26: 144–149.
- Ofosu-Budu K., Sarpong D., 2013.** Croissance de la filière de l’huile de palme au Ghana : implications pour les petits agriculteurs et viabilité a long terme, Dans : Reconstruire le potentiel alimentaire de l’Afrique de l’Ouest, A. Elbehri (ed.), FAO/FIDA, 50 p.
- Organisation internationale de normalisation, 1996.** Corps gras d’origines animales et végétales, norme ISO 3961, 3^{ème} édition, 67 p.
- Pafumi Y., Lairon D., De la Porte P.L., Juhel C., Storch J.M., Hamosh M., Armand M., 2002.** “Mechanisms of inhibition of triacylglycerol hydrolysis by human gastric lipase.” *Journal of Biology chimistrie*, 277(31), pp.28070–28079.
- Pages X., 2008.** Technologies des corps gras. , p.19.
- Pages X., Morin O., Birot C., Gaud M., Fazeuilh S., Gouband M., 2010.** Raffinage des huiles et des corps gras et élimination des contaminants. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*,7(2)p.86-99.
- Pedro A., Boris S., 2005.** Zoonoses and communicable diseases to man and animals. World Organization for Animal Health, *Australian mammalogy reviews*, p107.
- Petit V., Niot I., Poirier H., Besnard P., 2007.** “Fatty acids intestinal absorption: facts and uncertainties.” *Nutrition clinique et métabolique*, 21, p.38–45.
- Peyre R., 2011.** La méthode de Monte-Carlo. <http://www.normalesup.org/~rpeyre/pro/enseignement/MC12.pdf>. Consulté le 18 mars 2018, 89 p.
- Pouillot R., Sanaa M., Dufour B., 2002.** Principes de l’appréciation quatitative probabiliste des risques. *Epidemiologie et santé animal*, 41, p.95–112.
- Politique Nationale de Nutrition (PNN), 2015.** Rapport sur la nutrition en Côte d’Ivoire, 32 p.
- Rafflegeau S., 2008.** Dynamiques d’implantation et conduite technique des palmeraies villageoises de palmier à huile au Cameroun. Thèse de Doctorat en Agronomie : Institut des sciences et

- industries du vivant et de l'environnement de Paris (Agro Paris Tech, ex INAPG), 192 p.
- Rébéna A., 2016.** Consommation , perception et utilisations de l'huile rouge des ménagères et restauratrices de Yaoundé, mémoire de fin d'étude de l'Ecole Supérieure d'Agro-Développement International, 104 p.
- Reboul E., 2011.** Absorption intestinale des vitamines liposolubles, *Oleagineux Corps Gras Lipides*, 18(2), pp.53–58.
- Rees A.R., 1965.** Evidence of the African origin of the oil palm. *Principles*; 9: 30- 36.
- Renwick A. G., Flynn A., Fletcher R. J., Muller D. J., Tuijtelaars S., Verhagen H., 2004.** Risk-benefit analysis of micronutrients. *Food of Chemical Toxicology*, 42, 1903-22.
- Repa J.J., Mangelsdorf D.J., 2000.** The role of orphan nuclear receptors in the regulation of cholesterol homeostasis, *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 16, pp.459–481.
- Rice A., Burns J., 2010.** Moving from efficacy to effectiveness: red palm oil's role in preventing vitamin a deficiency. *Journal of the American College of Nutrition*, 29, p.302S–313S.
- Rival A, Levang P., 2013.** La palme des controverses, Palmier à huile et enjeux de développement. Livre, éditions Quæ, Collection Essais, Paris, 104 p.
- Ross A.C., Zolfaghari R., Weisz, J., 2001.** Vitamin A: recent advances in the biotransformation, transport, and metabolism of retinoids, *Current Opinions in Gastroenterology*, 17, p.184–192.
- Roy J., 1957.** Situation du Palmier à huile en Guinée. *Bulletin Agronomique*; 14: 120-125.
- Rubino G., Tuffin B., 2007.** Simulations et méthodes de Monte Carlo. Techniques de l'ingénieur. Probabilités et Statistique, AF600: 1-14.
- Ruf F., 2010.** “Les Baoulé ne sont pas des oiseaux pour manger du riz” Alimentation migrations et écologie du sud-ouest ivoirien. , rapport, p.1p.
- Rukmini C., 1994.** Red palm oil to combat vitamin A deficiency in developing countries. *Food Nutrition Bulletin*, 15(2), pp.129–9.
- Sablani S.S., Opara L.U., Al-Balushi K., 2006.** Influence of bruising and storage temperature on

- vitamin C content of tomato fruit, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 4, 54-56.
- Saini R.K., Keum Y., 2016.** Tocopherols and tocotrienols in plants and their products: A review on methods of extraction, chromatographic separation, and detection, *Food Research International* S0963-9969(16)30027-8.
- Sambanthamurthi R., Sundram K., Tan Y., 2000.** Chemistry and biochemistry of palm 230 oil. *Programme of Lipid Research*, 39(6):507-58.
- Sanaa M., Cerf O., 2002.** La démarche d'analyse quantitative des risques de maladies infectieuses transmises par les aliments, *Epidémiologie et Santé Animale*, 41, p.157–168.
- Sanginga N., Mbabu A., 2015.** Racines et Tubercules (Manioc , Igname , Pomme de Terre et Papate Douce), rapport 35 p.
- Satia-Abouta J., Patterson R.E., Kristal A.R., Hislop G.T., Yasui Y., Taylor V.M., 2001.** Development of scales to measure dietary acculturation among Chinese-Americans and Chinese-Canadians. *Journal of the American Dietetic Association*, 101, p.548–553.
- Schlundt J., 2002.** L'évaluation du risque comme outil de gestion du risque : Le cas des contaminants microbiens. Gestion de la sécurité des aliments dans les pays en développement. Actes de l'atelier international, CIRAD-FAO.Monpellier, France CIRADFAO, 120 p.
- Schnell R., 1946.** Note sur le Palmier à huile, sa répartition et sa dissémination dans la région forestière. *Notes Africaines IFAN Dakar*, 31: 30-31.
- Schwab U., Uusitupa M., 2015.** Diet heart controversies--Quality of fat matters. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2015;25:617-22. *Erratum in: Nutrition Metabolic Cardiovasculaire*, 25, pp.976–7.
- Seghier Y., 2014.** Acides gras alimentaires : les lignes bougent ! , pp.473–4.
- Selman J.D., 1994.** Vitamin retention during blanching of vegetables. *Food Chemistry* 49, 137-147.
- Selvaduray K., Radhakrishnan A.K., Kutty M.K., Nesaretnam K., 2012.** Palm tocotrienols decrease levels of pro-angiogenic markers in human umbilical vein endothelial cells (huvec) and murine mammary cancer cells. *Genes Nutrition*, 7, p.53–61.

Sen C., Khanna S., Roy S., 2006. Tocotrienols: vitamin E beyond tocopherols. *Life Sciences*, 78, p.2088–2098.

Seymour G.L., 1858. Borwandow's town, Pessey (Liberia), letter 1 April 1858. *African Repository*; 45: 245-249.

Shahidi F., Costa de Camargo A., 2016. Tocopherols and Tocotrienols in Common and Emerging Dietary Sources : Occurrence , Applications , and Health Benefits, *Intrnational Journal of Molecular Sciences*, 17, pp.1–29.

Shiraishi Y., Takagi Y., Hagi S., Sato A., Saeki R., Bakaypko K. V., Tanoh T. F., Homma K., 2016. Enquête sur les produits cuisinés et dérivés de Tsumiré / Surimi (produits emballés sous vide). *Oilseeds & fats Corps and Lipids*, pp.102–120.

Sirot V., Guérin T., Volatier J. L. Leblanc J. C., 2009. Dietary exposure and biomarkers of arsenic in consumers of fish and shellfish from France. *Science of The Total Environment*, 407(6), p.1875–85.

Sirot V. 2010. Une approche d'analyse risque/bénéfice de la consommation de poissons et produits de la mer, Thèse. AgroParisTech, Paris, France, 275 p.

Sohail M., Ahmed T., Akhtar S., Durrani Y., 2010. Effect of sunlight on quality and stability of dietary oils and fats. *Pakistan Journal of Biochemistry Molecular Biology*, 43(3), pp.123–125.

Sugiuchi H., Irie T., Uji Y., Ueno T., Chaen T., Uekama K., Okabe H., 1998. Homogeneous assay for measuring low-density lipoprotein cholesterol in serum with triblock copolymer and $\hat{I}\pm$ -cyclodextrin sulfate. *Clinical Chemistry* 44:522–531.

Sundram K., Sambanthamurthi R., Tan Y., 2003. Palm fruit chemistry and nutrition, *Asia Pacific Journal Clinical Nutrition*; 12 : 335-362.

Swaine M.D., 1992. Characteristics of dry forest in West Africa and the influence of fire. *Journal of Vegetation Sciences*. 3: 365-374.

Swaine M.D., Hall J.B., 1986. Forest structure and dynamics. Lawson, G.W. edition *Plant Ecology in West Africa*.; 47-93.

- swindale A., Bilinsky P., 2006.** Score de Diversité alimentaire des Ménages (SDAM) pour la mesure de l'accès alimentaire des ménages: Guide d'indicateurs, version 2. FANTA Project, Academy for Educational Development, Washington, 17 p.
- Tarmizi A., Lin S., 2008.** Quality assessment of palm products upon prolonged heat treatment. *Journal of Oleochemie Science* ., 57, p.639–48.
- Thomas A.S., 1936.** The oil palm in Uganda. *East African Agriculture Journal*, 2: 5-11.
- Thusfield M., 2007.** Veterinary epidemiology. Blackwell Science Ltd : Oxford., livre 610 p.
- Toma B., 2002.** L'appréciation quantitative du risque : notions générales. *Epidémiologie et santé animale*, 4, p.5–17.
- Toma B., Dufour B., Sanaa M., 2002.** Généralités sur l'analyse de risque. *Epidémiologie et santé animale*, 4, p.5–17.
- Touré A., 2013.** L'huile de palme et la mondialisation, Ecole de affaires-business school, master en commerce international, mémoire online, 1 p.
- Tosun B.N., Yucesan S., 2007.** Influence of Home Freezing and Storage on Vitamin C contents of some vegetables. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6, 472-477.
- Tran K.M., Johnson R.K., Soultanakis R.P., Matthews D., 2000.** In-person vs telephone-administered multiple-pass 24-hour recalls in women: validation with doubly labeled water. *Journal Dietetic Association*, 100, pp.777–783.
- Traoré S.G., 2013.** Risques de contraction des affections a vibrio sp. et a paragonimus sp. lies a la consommation des crabes et des crevettes vendus sur les marches d'abidjan et de dabou. Thèse pour obtenir le grade de docteur en Sciences et Technologies des Aliments de l'U, 15 p.
- USDA (United States Department of Agriculture), 2013.** Foreign Agricultural Service, Office of Global Analysis. February; 26p.
- USDA (United States Department of Agriculture), 2017.** Foreign Agricultural Service, Office of Global Analysis. February 36 p.
- Van Boekel M.A., 2008.** Kinetic modeling of food quality: a critical review. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 144-158.

- Vanbrabant M., 2012.** Les vitamines, rapport 11 p.
- Vors C., 2012.** Impact de la structure de la matière grasse sur l'absorption et le devenir métabolique des lipides et des endotoxines chez l'homme normo-pondéré ou obèse, thèse de doctorat en biochimie de l'université de Lyon, 94 p.
- Vors C., Lecomte M., Michalski M.C., 2016.** Impact de la structure émulsionnée des lipides sur le devenir métabolique des acides gras alimentaires. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51(5), pp.238–247.
- Vose D., 2008.** Risk analysis. A quantitative guide. John Wiley et Sons, Ltd. Third edition., livre, 752 p.
- Wahlefed A.W., Bergmeyer H.U., 1974.** Methods of enzymatic analysis, academic press, 2nd English ed. New York, 102p.
- Walrand S., Fisch F., Bourre J.M., 2010.** Tous les acides gras saturés ont-ils le même effet métabolique? *Nutrition clinique et métabolisme*, 24, pp.63–75.
- Wang H., Cao G., Prior, R.L., 1996.** Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, pp.701–705.
- WHO 1997.** Report of the Joint FAO/WHO Consultation on food consumption and exposure assessment of chemicals. Report of a FAO/WHO Consultation. Geneva, Switzerland, 69 p.
- WHO 2006.** Safety evaluation of certain food additives and contaminants. 64st report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives and Contaminants. Geneva, Switzerland, 104 p.
- WHO, 2009.** Assessment of combined exposures to multiple chemicals: report of a WHO/IPCS international workshop on aggregate/cumulative risk assessment, résumé 1 p.
- WHO, 2011.** Indicators for assessing infant and young child feeding practices. Part 2: Measurement. int/nutrition/publications/infantfeeding/9789241599290/en/index.html), 27 p.
- Wong R.S., Radhakrishnan A.K., 2012.** Tocotrienol research: past into present. *Nutrition Revue*, 70, p.483–490.

- Yao R.N., Kamagaté D.K., 2010.** Production du palmier a huile (*elaeis guineensis jacq.*) et taux d'extraction dans des conditions climatiques marginales au nord-est de la Cote D'Ivoire. Laboratoire de Bioclimatologie et Laboratoire d'Amélioration des Plantes. Ecole d'Agronomie / Institut. , 22(2), pp.149–161.
- Zhang J., Kesteloot H., 2001.** Differences in allcause, cardiovascular and cancer mortality between Hong Kong and Singapore: role of nutrition. *European Journal of Epidemiology*, 17, pp.469–77.
- Zwietering M.H., Van Gerwen S.J.C., 2000.** Sentivity analysis in quantitative microbial risk assessment. *International Journal of Foods and Microbiology*, 58, pp.213–221.



ANNEXES

ANNEXE 1 : FICHE D'ENQUETE DE CONSOMMATION

SECTION A: INFORMATION DE PRE-ENTRETIEN

Nom de la Région: Nom du département	Nom de la sous-préfecture
Village/ Nom de la Localité:	Identifiant du Ménage:
Agent Enquêteur:	
Date d'Entretien: Heure de début: Heure de fin:	Cordonnée Longitude GPS: Latit ude

SECTION B: PROFIL MÉNAGE/INDIVIDU

1	Femme :18-30 31-45 <input type="checkbox"/> 46 et + <input type="checkbox"/>		Ethnie																														
3.	Homme : Age du mari:18-30 <input type="checkbox"/> 31-45 <input type="checkbox"/> 46 et plus <input type="checkbox"/>																																
	Le mari est-il le chef de ménage ? Si non, donner le nom et l'âge du chef de ménage																																
4.	Situation matrimonial de la femme: 1=légalement mariée 2=mariée et vit en couple /avec son époux 3=mariée et vit séparément 4=divorcée/séparée 5=veuve/veuf 6=jamais mariée 7=autre	7.	Niveau d'étude de la femme 1=Non scolarisé 2=Primaire 3=Secondaire 4=Université																														
5.	Veuillez dresser la liste de tous les enfants, leur sexe et leur date de naissance dans le petit tableau ci-dessous																																
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Nom des enfants</th> <th style="width: 33%;">Sexe</th> <th style="width: 33%;">Age ou date de naissance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			Nom des enfants	Sexe	Age ou date de naissance																											
Nom des enfants	Sexe	Age ou date de naissance																															

SECTION C: SCORE DE DIVERSITÉ ALIMENTAIRE INDIVIDUEL (SDAI)

Question n°	Groupe d'aliments	Exemples	OUI=1 NON=0	Quantités
1	CÉRÉALES	maïs, riz, blé, sorgho, mil et toute autre céréale ou aliment élaboré à partir de céréales (pain, nouilles, bouillie ou autres) + ajouter des aliments locaux		
2	RACINES ET TUBERCULES BLANCS	Patates blanches, ignames blanches, manioc blanc ou autres aliments tirés de racines		
3	LÉGUMES ET TUBERCULES RICHES EN VITAMINE A	carotte, courge ou patate douce (chair orange) + autres légumes riches en vitamine A disponibles localement		
4	LÉGUMES FEUILLES VERT FONCÉ	légumes feuilles vert foncé, y compris les variétés sauvages + feuilles riches en vitamine A disponibles localement, comme les feuilles d'amarante et de manioc, le chou vert, les épinards		
5	AUTRES LÉGUMES	autres légumes (comme la tomate, l'oignon, l'aubergine) + autres légumes disponibles localement		
6	FRUITS RICHES EN VITAMINE A	mangue mûre, papaye mûre et jus pur obtenu à partir de ces mêmes fruits + autres fruits riches en vitamine A disponibles localement		
7	AUTRES FRUITS	autres fruits, y compris les fruits sauvages et les jus purs obtenus à partir de ces autres fruits		
8	ABATS	foie, rognons, cœur et autres abats ou aliments élaborés à partir de sang		
9	VIANDE (MUSCLE)	(MUSCLE) bœuf, porc, agneau, chèvre, lapin, gibier, poulet, canard, autres volatiles ou oiseaux, insectes		
10	ŒUFS	œufs de poule, de canard, de pintade ou tout autre œuf		
11	POISSONS ET FRUITS DE MER	poisson frais ou séché, coquillages ou crustacés		

12	LÉGUMINEUSES, NOIX ET GRAINES	haricots secs, pois secs, lentilles, noix, graines ou aliments élaborés à partir de ceux-ci (beurre d'arachide, par exemple)		
13	LAIT ET PRODUITS LAITIERS	lait, fromage, yaourt ou autres produits laitiers		
14	HUILES ET GRAISSES	huiles, graisses ou beurre ajoutés aux aliments ou utilisés pour la caisson		
15	SUCRERIES	sucre, miel, soda ou jus de fruit contenant du sucre ajouté, aliments sucrés tels que chocolat, bonbons, biscuits et gateaux		
16	ÉPICES, CONDIMENTS, BOISSONS	épices (poivre noir, sel), condiments (sauce de soja, sauce piquante), café, thé, boissons alcoolisées		

Source: FAO, 2013

SECTION D : QUESTIONNAIRE SUR LES HABITUDES ALIMENTAIRES (QUESTIONNAIRE DE FREQUENCE)

Parmi les huiles sous-cités quels sont celles que vous consommez ?

Groupes d'aliments	Fréquences	Au moins une fois par jour	Deux à trois fois par semaines	Une fois par semaine	Chaque deux semaines	Une fois par mois	Rarement	Jamais
	Aliments							
HUILES DE PALMES	Huile de palme rouge							
	Huile dinor							
	Huile aya							
	Huile palm d'or							
	Autres à préciser							

SECTION E : QUESTIONNAIRE SUR LA QUANTITE D'HUILE DE PALME CONSOMMEE

HUILES DE PALMES	QUANTITES	PRIX
Huile de palme rouge		
Huile dinor		
Huile aya		
Huile palm d'or		
Autres à préciser		

LIEUX D'APPROVISIONNEMENTS

VILLES	QUANTITES	PRIX / LITRES	PRERIODES D'ABONDANCES	PERIODES DE PENURIES

A : 450 g**B : 675 g****B : 900 g****Attiéké****Placali****Foutou
banane****Bouillie
d'igname****Foutou
d'igname****Riz****Kabatho**

20 mL

40 mL

60 mL

80 mL

Huile raffinée



Huile rouge



Louche
67 mL

Louche
36 mL

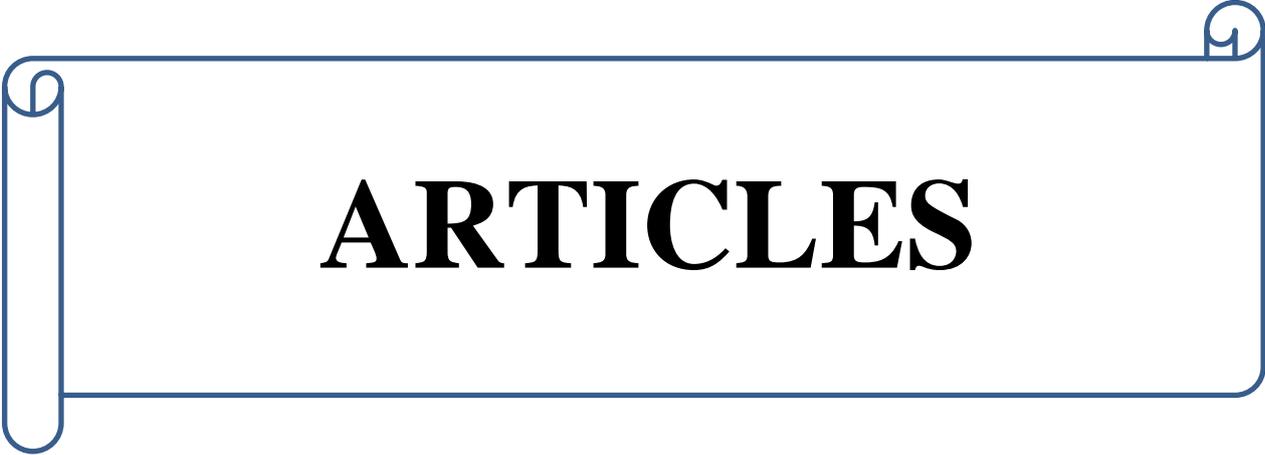
Cuillère
11 mL

Huile raffinée

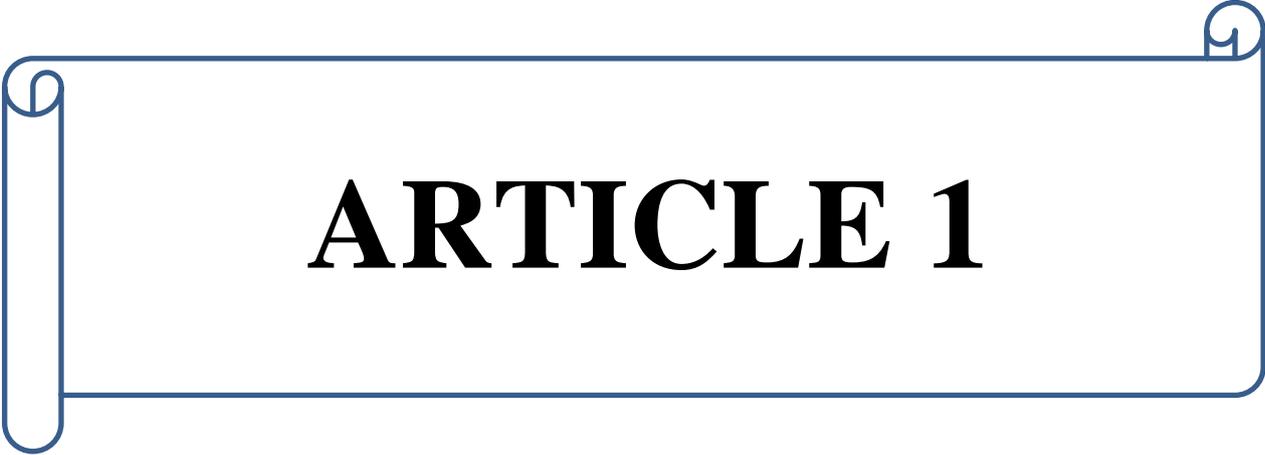


Huile rouge





ARTICLES



ARTICLE 1

Caractérisation Qualitative Et Quantitative De La Consommation De Différents Groupes D'aliments En Côte d'Ivoire

Béhibolo Antoinette Yoboué (Doctorante)

Arsène Landry Igor Nougou (Docteur)

Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny/ Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et de l'Environnement et des Energies nouvelles (LAPISEN), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Kwadjo Anicet Luc Déré (Maitre-Assistant)

Université Alassane Outtara/ Laboratoire de Biochimie Médical, Unité de Formation et de Recherche Médicale, Bouaké, Côte d'Ivoire

Zita Essan Bla N'Goran-Aw (Maitre-Assistant)

Doudjo Soro (Maitre-Assistant)

Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny/ Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et de l'Environnement et des Energies nouvelles (LAPISEN), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Gnomblesson Georges Tiahou (Professeur Titulaire)

Université Alassane Outtara/ Laboratoire de Biochimie Médical, Unité de Formation et de Recherche Médicale, Bouaké, Côte d'Ivoire

Nougou Emmanuel Assidjo (Professeur Titulaire)

Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, B.P. 1093
Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et de l'Environnement et des Energies nouvelles (LAPISEN), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Doi:10.19044/esj.2018.v14n17p297 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n17p297](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n17p297)

Abstract

Qualitative and quantitative study of food is essential to highlight causes of nutritional problems in order to evaluate and propose relevant interventions. To achieve this objective, a transversal survey requiring tools to estimate the quantity of food consumed per person was carried out. 417 people were interviewed in seven districts of Côte d'Ivoire. The results of the survey showed that the average individual dietary diversity score of the respondents was 4.4. Food groups daily consumed by nearly 50 % of the population are : spices, condiments, beverages (100%); fish and seafood (93.95%), oils and fats (93.83%), cereals (89.97%), roots and tubers (87.27%) and other vegetables (54.07%). Staple foods were consumed at an

average of 450.00 ± 225.00 and 562.50 ± 290.50 g per meal per person. Rice ($33.66 \pm 6.06\%$) and cassava ($23.09 \pm 5.28\%$) were the most consumed staple foods. In sum, the choice of the type and quantity of staple foods to be consumed per individual should be guided by the activity performed, at the risk of increasing the morbidity and mortality rate related to metabolic diseases.

Keywords: Quantitative, qualitative, groups, foods

Résumé

L'étude qualitative et quantitative de l'alimentation est indispensable pour mettre en lumière les causes des problèmes nutritionnels en vue d'évaluer et proposer des interventions pertinentes. Pour atteindre cet objectif une enquête transversale nécessitant des outils d'estimation de la quantité des aliments consommés par personne a été réalisée. Elle s'est déroulée auprès de 417 personnes dans sept chefs-lieux de district de la Côte d'Ivoire. Les résultats de l'enquête ont montré que le score de diversité alimentaire individuel moyen des personnes interrogées était de 4,4. Les groupes d'aliments journalièrement consommé par près de 50 % de la population sont: les épices, condiments, boissons (100 %); poissons et fruits de mer (93,95 %), huiles et graisses (93,83 %), céréales (89,97 %), racines et tubercules (87,27 %) et autres légumes (54,07 %). Les aliments de base étaient consommés à des quantités moyennes de $450,00 \pm 225,00$ et $562,50 \pm 290,50$ g par repas et par personne. Le riz ($33,66 \pm 6,06$ %) et le manioc ($23,09 \pm 5,28$ %) étaient les aliments de base les plus consommés. En somme, le choix du type et de la quantité d'aliments de base à consommer par individu, doit être orienté par l'activité effectuée au risque d'augmenter le taux de morbidité et de mortalité lié aux maladies métaboliques.

Mots clés : quantitative, qualitative, groupes, aliments

Introduction:

L'alimentation est un besoin fondamental chez l'homme, puisqu'elle apporte à son organisme les nutriments et l'énergie dont il a besoin pour se construire et fonctionner (Rigaux, 2014). Dans les pays en développement comme dans ceux développés, la surveillance de la qualité de l'alimentation est primordiale, tant les formes de malnutrition sont nombreuses et leurs conséquences mesurables en terme de vies humaines (Becquey, 2006).

De ce fait, les politiques de santé publique visant la réduction des maladies nutritionnelles examinent de plus en plus le comportement alimentaire des populations à travers des enquêtes. En effet, les enquêtes alimentaires sont des méthodes développées pour évaluer les apports

alimentaires d'un individu ou d'un groupe d'individus. En épidémiologie, elles permettent d'étudier les relations entre l'alimentation et certaines pathologies afin d'identifier des nutriments, des aliments ou des profils de consommation bénéfiques ou néfastes pour la santé. En clinique, l'évaluation des apports alimentaires fait partie de la prise en charge thérapeutique des maladies dites «liées à la nutrition» (Anonyme 1, 2011). Malgré les différentes actions d'interventions des organismes nationaux et internationaux (CNN, PAM, PNN, ACF), les difficultés liées à l'alimentation restent préoccupantes.

En Côte d'Ivoire, plusieurs études concernant l'alimentation et la nutrition ont été menées (Kouassi et *al.* 2013; Moyabi et Affeli, 2013; et Anonyme 2, 2016). Ces travaux ont porté sur la vulnérabilité alimentaire, la situation nutritionnelle et le niveau de sécurité alimentaire en Côte d'Ivoire. Ces différentes études ont permis d'identifier les principaux problèmes de nutrition dans le pays et les obstacles à l'accroissement des actions en faveur de la nutrition.

Cependant, des données sur le mode d'alimentation des adultes au niveau national, la détermination des quantités d'aliments de base consommées et leurs apports énergétiques journalier sont très peu disponibles en Côte d'Ivoire. Par ailleurs, des outils tels que les photographies pour le suivi et l'évaluation quantitative de la consommation des aliments sont quasi inexistantes.

L'objectif de ce travail est de déterminer le profil alimentaire et l'état nutritionnel des populations en Côte d'Ivoire. Pour atteindre cet objectif, des enquêtes de rappel qualitatif et quantitatif des dernières 24 heures ont été menées dans plusieurs chefs-lieux de districts de la Côte d'Ivoire. De telles données sont indispensables pour l'information de la population, la mise en place de politiques alimentaires adaptées, l'évaluation les politiques existantes, de même que pour leur utilisation dans le cadre de la recherche scientifique.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Les enquêtes se sont déroulées de Novembre 2016 à Février 2017 dans sept villes de la Côte d'Ivoire qui sont: Abidjan, Abengourou, Dabou, Daloa, Korhogo, Man et Yamoussoukro. Ces villes sont des chefs-lieux de district. Elles ont été choisies dans le but de décrire la diversité alimentaire individuelle et la fréquence de consommation des différents groupes d'aliments dans les régions du Nord, Sud, Centre, Est et Ouest de la Côte d'Ivoire.

Type d'étude

Dans le cadre de ce travail il s'est agit d'une enquête alimentaire décrite par le rappel qualitatif et quantitatif des dernières 24 heures. C'est une enquête rétrospective et transversale dans laquelle la population cible avait au moins 18 ans.

Population

Le choix des personnes qui ont participé à l'enquête a été fait par la technique de l'échantillonnage par sondage systématique. Le nombre de personnes interrogées était de 417 déterminés selon l'expression de Giezendanner (2012). Le choix du nombre d'individus dans chaque chef-lieu de district a été proportionnel à la taille démographique de chaque ville (échantillonnage par quota) et le nombre d'individus par chef-lieu de district est présenté au **tableau 1**.

$$n = t^2 x \frac{p(1-p)}{e^2} \quad (\text{Giezendanner, 2012})$$

Avec **n** : la taille de l'échantillon, **e**: la marge d'erreur, **t**: le coefficient de marge déduit du taux de confiance, **p**: la proportion des éléments de la population-mère qui présente une propriété donnée.

Tableau 1: Nombres de personnes enquêtées par zone d'étude

Chefs-lieux de districts	Nombres de personnes enquêtées
Abidjan	257
Abengourou	20
Dabou	16
Daloa	43
Korhogo	35
Man	24
Yamoussoukro	22

Rappel qualitatif

L'enquête consistait à recenser, en un jour excepté le jour de festivité, tous les plats, sauces, snacks (grignotages) et boissons consommés la veille. Cette évaluation de diversité alimentaire se déroule en deux étapes.

La première étape consiste à effectuer un rappel de consommation alimentaire de 24 heures. Cette méthode consiste à enregistrer l'ensemble des aliments et des boissons consommés par la personne interrogée durant les 24 heures ayant précédé l'interview (Biro et *al.*, 2002). Selon la technique de Johnson et *al.* (1996); l'interrogatoire est guidé par une série de questions qui portent spécifiquement sur certains points source d'erreurs et une liste de groupes d'aliments. Dans le cadre de ce travail, la liste de groupes d'aliments

(16 groupes) retenu pour la réalisation de l'enquête était celle basée sur la subdivision des groupes d'aliments effectuée par la FAO (Kennedy et *al.*, 2013).

Au cours de cette interrogation, les aliments et boissons consommés sont identifiés, soulignés dans la liste où figure chaque groupe d'aliments. Puis, l'on affecte le coefficient 1 dans la colonne en regard de chaque groupe dont au moins un des éléments a été souligné ou inscrire « 0 » dans cette colonne lorsqu'il est avéré qu'aucun aliment de ce groupe n'a été consommé.

La deuxième étape consiste à calculer le Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI) nécessitant la fusion des 16 groupes d'aliments utilisés pour les enquêtes en 9 groupes (Kennedy et *al.*, 2013). Il s'agit de faire la somme de tous les coefficients des colonnes en regard de chaque groupe dont au moins un des éléments a été souligné. Cette addition est effectuée pour chaque individu enquêté et correspond au SDAI.

Rappel quantitatif

Le rappel quantitatif des dernières 24 heures a permis de déterminer les quantités d'aliment consommées par personne et par repas. Cette méthode est employée pour évaluer les apports énergétiques et nutritionnels (Lawn et Harvey, 2003). Il s'agit d'effectuer un entretien pendant lequel on demande au sujet de se remémorer et de décrire les quantités d'aliments et boissons consommées pendant les 24 heures précédentes. Dans le cadre de ce travail, les informations sur l'appréciation quantitative ont été obtenues à l'aide de photographies des aliments de bases locaux repérés au cours d'une pré-enquête (**photographies en annexe**). Ces aliments de base (riz, maïs, igname, manioc, patate douce, banane plantain) ont été cuits à l'eau puis pesés à différentes masses (225 g, 450 g, 675 g, 900 g). Ainsi, les informations obtenues par pesée ont été mis sur support photographique dans le but de les présenter aux répondants afin qu'ils choisissent les quantités d'aliments de base consommées par repas.

▪ **Détermination de la valeur énergétique des aliments de base**

La valeur énergétique (kilocalories / 100 g d'aliment) a été déterminée en utilisant les coefficients d'Atwater et Benedict (1902).

$$\text{Valeur énergétique (Kcal)} = [(\text{Glucides (\%)} \times 4) + (\text{Protéines (\%)} \times 4) + (\text{Lipides (\%)} \times 9)]$$

Analyse statistique

Les données obtenues à partir de ces enquêtes ont été analysées à l'aide du logiciel Excel et STATISTICA version 7.1.

Résultats et Discussion

Evaluation qualitative

L'évaluation qualitative de la diversité alimentaire concerne le Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI) et la fréquence journalière de consommation des 16 groupes d'aliments.

Evaluation Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI)

La **figure 1** décrit le SDAI moyen de la population des chefs-lieux de districts qui est de $4,38 \pm 1,21$. Ce SDAI moyen est différent de ceux déterminés par Déré et *al.* (2016) qui étaient de $5,6 \pm 1,58$ et de 6 ± 1 respectivement chez des personnes diabétiques et hypertendues. Cette différence pourrait être due à l'état de santé des personnes enquêtées. En effet, les participants à cette présente investigation étaient en bonne santé apparente. Par contre, ceux interrogés dans l'étude de Déré et *al.* (2016) sont atteints de maladies chroniques. Ceci révèle que la diversité alimentaire individuelle de ces patients a pu être influencée par les conseils médicaux reçus.

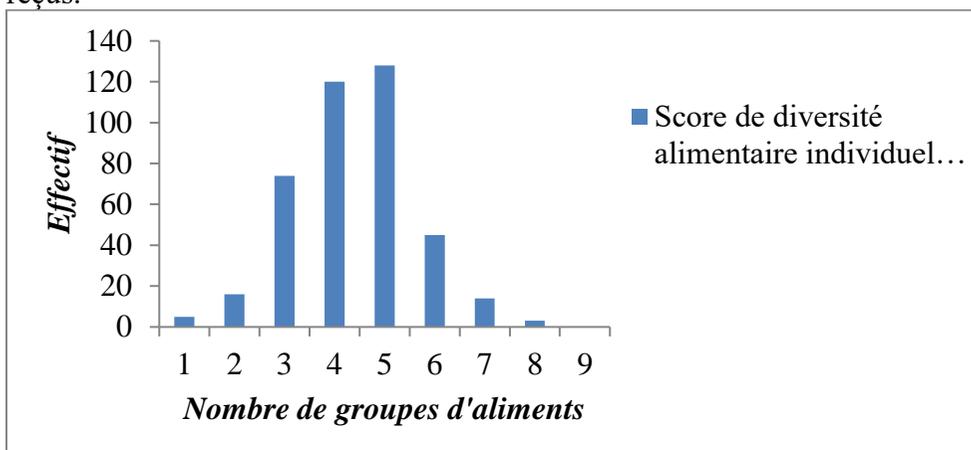


Figure 1: Distribution du Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI)

La subdivision de ce score en tercile (**Tableau 2**), montre que 23,46 % de la population a consommée moins de quatre groupes d'aliments différents en 24 heures. Ces différents groupes d'aliments définissent le profil alimentaire des personnes investiguées. Le profil alimentaire de ce groupe est composé de céréales, des huiles et graisses, des épices, condiments, boissons et présente une diversité alimentaire faible. La diversité alimentaire moyenne est observée chez 29,63 % de la population. Cela signifie qu'ils ont consommés en moyenne quatre groupes d'aliments différents pendant 24 heures c'est-à-dire qu'en plus des céréales, huiles et graisses, épices, condiments et boissons leur profil alimentaire est aussi constitué de poissons et fruits de mer. Par contre, elle est élevée chez 46,91

% de la population enquêtée. Ces individus ont consommés plus de quatre groupes d'aliments différents au cours des 24 heures précédant l'enquête. Le profil alimentaire de ce groupe est composé de céréales, racines et tubercules, autres légumes, poissons et fruits de mer, huiles et graisses, sucreries et des épices, condiments, boissons. Au total, 53,09 % de la population enquêtée expriment une diversité alimentaire non satisfaisante. Ce résultat est identique à celui rapporté par Kouassi et *al.* (2013). Ces auteurs indiquaient que 52,10 % de la population dans les zones urbaines d'Abidjan avaient une diversité alimentaire non satisfaisante. Le niveau de diversité alimentaire des populations n'a pas substantiellement évolué entre 2013 et 2017.

Tableau 2: Profils alimentaires des populations étudiées par tertile de diversité alimentaire

NIVEAUX DE SCORE	PROPORTION DE LA POPULATION	PROFILS ALIMENTAIRES
Score de Diversité alimentaire faible (< 4)	23,46 %	Céréales, huiles et graisses, épices, condiments, boissons.
Score de Diversité alimentaire moyenne (= 4)	29,63 %	Céréales, poissons et fruits de mer, huiles et graisses, épices, condiments, boissons.
Score de Diversité alimentaire élevé (> 4)	46,91%	Céréales, Racines et tubercules, autres légumes, poissons et fruits de mer, huiles et graisses, sucreries, épices, condiments, boissons.

Les SDAI de la population des sept (7) chefs-lieux de district présenté par le **Tableau 3** révèle que cette population a une moyenne de diversité alimentaire comprise entre 3,43 et 5,87. Le SDAI le moins élevé est observé à Korhogo (3,43) tandis que la ville d'Abidjan (5,87) présente le SDAI le plus élevé. De plus, l'analyse statistique des SDAI décrit une différence significative entre les SDAI des villes. Cela souligne que la diversité alimentaire diffère d'une zone à l'autre. De même, le test post hoc de Fisher permet de regrouper les Sept (7) chefs-lieux de district en trois (3) groupes. Le premier groupe, renferme les populations des villes de Korhogo ($3,43 \pm 1,24$), Man ($3,80 \pm 1,15$) et Abengourou ($3,95 \pm 1,26$) qui ont les diversités alimentaires individuelles les plus faibles. Yamoussoukro ($4,40 \pm 1,32$), Daloa ($4,45 \pm 1,15$) et Dabou ($4,77 \pm 0,94$) présentent des SDAI intermédiaire. La diversité alimentaire la plus élevée est observée auprès des populations d'Abidjan ($5,87 \pm 1,13$). Les villes dont les populations présentent les SDAI plus faibles sont situées respectivement au Nord, à l'Est et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Les individus dans ces zones consomment environ trois (3) à quatre (4) groupes d'aliments différents en 24 heures. Ils présentent un régime alimentaire moins diversifié que les populations des autres chefs-lieux de districts. Cette faible diversité alimentaire dans ces

zones serait due aux problèmes de disponibilité, d'accessibilité et à l'attachement aux coutumes alimentaires qui sont des éléments pouvant fragiliser la diversité alimentaire. Ce niveau de diversité alimentaire moins élevé pourrait être une des causes des taux les plus élevés de retard de croissance dans ces zones Nord (39%), Nord-Est (39%), Nord-Ouest (32%) et Ouest (34%) de la Côte d'Ivoire. Ainsi, dans ces zones, les taux de retard de croissance sont supérieurs à 30%, avec des profils de malnutrition chronique avérés (CNN, 2014). Par ailleurs, la population de la ville d'Abidjan présente une alimentation plus diversifiée. Selon la classification de l'OMS, les populations de la ville d'Abidjan, ont une valeur de retard de croissance inférieure à 20%, donc jugé acceptable (CNN, 2014).

Tableau 3: SDAI par chefs-lieux de districts

Chefs-lieux de districts	Score de Diversité Alimentaire Individuel (SDAI)
Korhogo	3,43 ± 1,24 ^a
Man	3,80 ± 1,15 ^a
Abengourou	3,95 ± 1,26 ^a
Yamoussoukro	4,40 ± 1,32 ^b
Daloa	4,45 ± 1,15 ^b
Dabou	4,77 ± 0,94 ^b
Abidjan	5,87 ± 1,13 ^c

Les valeurs en colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes avec le test de Fisher au seuil de 5 %.

Fréquence de consommation des 16 groupes d'aliments

La **figure 2** présente la distribution de la fréquence de consommation journalière des différents groupes d'aliments. Elle révèle d'abord que le groupe d'aliment composé d'épices (poivre, sel), condiments (sauce de soja, sauce piquante) et boissons (café, thé, boissons alcoolisées) a été utilisé par l'ensemble des personnes enquêtées (100 %). Ensuite, les poissons et fruits de mer ainsi que les huiles et graisses ont été consommés à des fréquences respectives de 93,95 % et 93,83 %. Les fréquences de consommation des céréales, racines et tubercules ont été respectivement de 89,97 % et 87,27 %. Les groupes d'aliments tels que : "autres légumes", "sucreries", "autres fruits" et "légumineuse, noix, graines" sont consommés à des fréquences respectivement 54,07 %; 31,52 %; 29,58 % et 29,34 %. Avec une fréquence de 22,32 %, le groupe "fruits riches en vitamine A" a été plus consommé que le groupe "viande", consommé à une fréquence journalière de 18,55 %. Le groupe "lait et produits laitiers" vient après le groupe "viande", avec une fréquence de consommation de 16,03 %. Il est suivi des groupes d'aliments "légumes feuilles verts foncés", "œufs", et "abats" qui ont respectivement des fréquences de consommation de 14,75 %, 10,63 % et 3,20 %. Enfin, le

groupe légumes et tubercules riches en vitamine A a été moins consommé avec une fréquence de 0,33 %.

Les céréales, racines et tubercules, sont les principales cultures alimentaires destinées à la consommation humaine (Sanginga et Mbabu, 2015). Parmi ces aliments de base, les céréales constituent les aliments énergétiques les plus consommés dans les zones étudiées. Cette consommation des céréales a été également confirmée par les travaux de Macauley et Ramadjita (2015) qui mettaient en évidence que les céréales telles que le sorgho, le millet, le blé, le maïs et le riz sont les aliments de base essentiels pour la majorité de la population du Sénégal. Les potagères telles que l'aubergine, gombo, la tomate, l'oignon et ceux disponibles localement sont les légumes généralement utilisés comme ingrédient dans la réalisation des sauces pour l'accompagnement des aliments de base. Généralement, ces individus confectionnent les plats avec de l'huile, la graisse (origine animale et végétale) ainsi que des épices et condiments (poivre, sel, sauce de soja, sauce piquante). Par ailleurs, les poissons et fruits de mer représentent la première source de protéine animale de ces populations urbaines. En fait, les poissons sont faciles d'accès et disponibles à toutes les bourses. Cette consommation de poissons est également mise en évidence par les résultats d'enquête réalisée par l'Ocean World Academy of Japan (OWAJ) en 2016. Selon Shiraishi et *al.* (2016), la consommation des produits halieutiques en Cote d'Ivoire est en constante augmentation chaque année. L'analyse de la fréquence de consommation des aliments a permis d'identifier les aliments faiblement consommés et les plus utilisés par la population. Les 16 groupes d'aliments sont consommés à des fréquences relativement variées. Les légumes et tubercules riches en vitamine A sont très peu fréquents dans la composition des plats, par contre, les épices, condiments et boissons font partie de l'alimentation quotidienne de ces populations enquêtées.

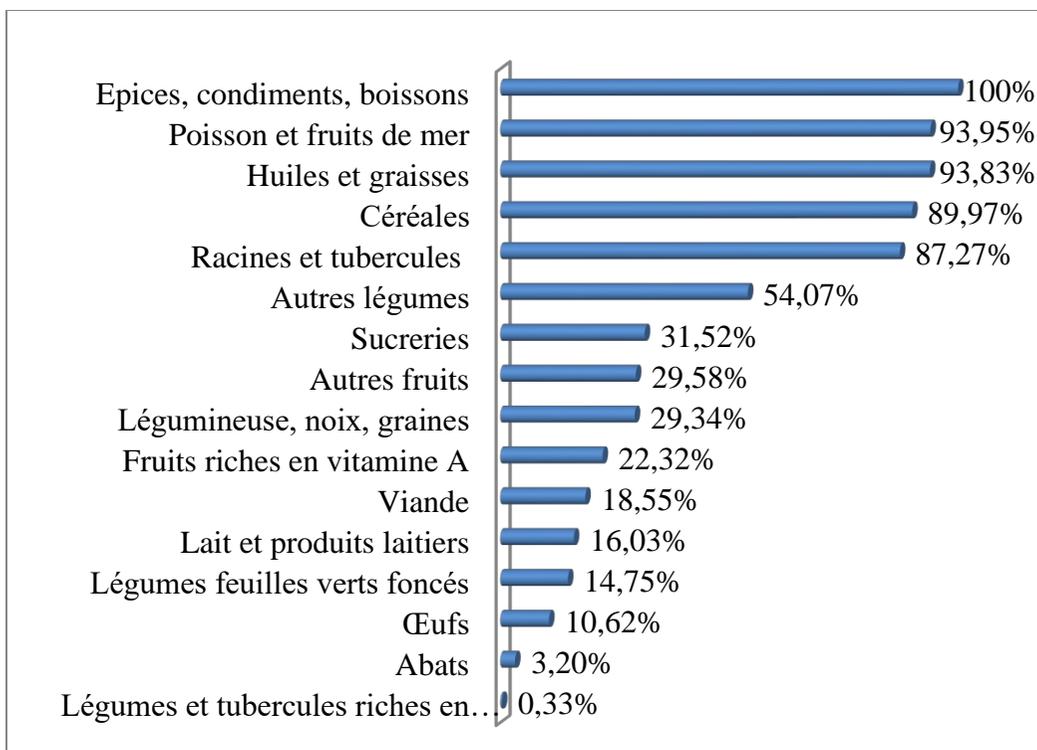


Figure 2 : Distribution de la fréquence de consommation des 16 groupes d'aliments

Toutefois, la fréquence de consommation de ces aliments ne met pas en évidence les quantités d'aliments de base (représentent la première source d'énergie des consommateurs) consommées. Ceux-ci ont été évalués à partir de la détermination des quantités d'aliments de base consommées (rappel quantitatif) et du calcul d'apport énergétique journalier.

Evaluation quantitative de la diversité alimentaire

Le **Tableau 4** révèle les quantités moyennes d'aliments de base consommées par la population dans chaque chef-lieu de district. Les populations des sept zones étudiées ont des consommations moyennes identiques en riz et en manioc. Le maïs est plus consommé à Korhogo ($562,5 \pm 129,90$ g par repas et par jour) mais cette consommation est quasi nulle à Abengourou ($0,00 \pm 0,00$ g par repas et par jour). L'igname est en moyenne plus consommée par repas et par jour par les populations des zones d'Abidjan ($357,64 \pm 225,86$ g), Abengourou ($375,00 \pm 129,90$ g), Dabou ($337,50 \pm 129,90$ g), Daloa ($375,00 \pm 116,19$ g) et Yamoussoukro ($375,00 \pm 129,90$ g). Par contre, ce tubercule est moins consommé par les populations des régions de Man ($225,00 \pm 0,00$ g) et Korhogo ($0,00 \pm 0,00$ g). La banane plantain généralement sous la forme « foutou » est plus présente journalièrement dans les mets des habitants des régions d'Abidjan ($419,06 \pm$

163,10 g) et d'Abengourou (417,86 ± 185,04 g) mais très peu consommé par la population de Korhogo (0,00 ± 0,00 g).

Selon Ruf (2010), la consommation des aliments de base en Côte d'Ivoire était répartie par région; le centre avait un système alimentaire privilégiant l'igname, le Nord et l'Ouest favorisaient plus la consommation du maïs et du riz. Le test post hoc de Fisher des quantités d'aliments de base consommées nous indiquent que les populations du Nord, conservent toujours leur alimentation plus orientée vers les céréales surtout le maïs. Egalement, le peuple de l'Est (district d'Abengourou), qui consommait autrefois plus les racines (igname) (Dubresson, 1989) et la banane plantain, reste toujours attaché à leur coutume alimentaire qui est la consommation plus accentuée de l'igname et des fruitiers tel que la banane plantain. De même, la population du Centre (district de Yamoussoukro) conserve toujours l'igname comme première source énergétique dans leur alimentation. Cependant, la consommation du riz et du manioc semble être la même pour l'ensemble des populations étudiées. En effet, le riz qui est un aliment énergétique disponible à toute saison, est de plus en plus utilisé comme substitut des aliments de base des différentes régions de la Côte d'Ivoire qui sont moins conservables. Par ailleurs, les tubercules de manioc sont transformés en différents produits alimentaires tels que l'attiéké, le gari, le tapioca et la liqueur. Cette amélioration permet une conservation plus ou moins longue de ces produits (N'Zué et *al.*, 2013).

Tableau 4 : Quantité moyenne (g) d'aliment de base consommé par chef-lieu de district

	Riz	Maïs	Igname	Manioc	Banane plantain
Abidjan	428,99 ± 142,80 ^a	478,13 ± 187,77 ^b	357,64 ± 225,86 ^b	323,32 ± 148,31 ^a	419,06 ± 163,10 ^c
Abengourou	436,76 ± 94,88 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	375,00 ± 129,90 ^b	337,50 ± 225,00 ^a	417,86 ± 185,04 ^c
Dabou	412,50 ± 129,90 ^a	450,00 ± 125,00 ^b	337,50 ± 129,90 ^b	365,63 ± 206,13 ^a	380,77 ± 108,08 ^{bc}
Daloa	450 ± 85,04 ^a	337,50 ± 129,90 ^b	375,00 ± 116,19 ^b	265,50 ± 96,78 ^a	375,00 ± 159,10 ^{bc}
Korhogo	495 ± 148,20 ^a	562,5 ± 129,90 ^c	0,00 ± 0,00 ^a	315,00 ± 201,25 ^a	0,00 ± 0,00 ^a
Man	423,53 ± 109,14 ^a	375,00 ± 129,90 ^b	225,00 ± 0,00 ^a	302,88 ± 201,25 ^a	318,75 ± 115,86 ^b
Yamoussoukro	450,00 ± 147,30 ^a	450,00 ± 159,10 ^b	375,00 ± 129,90 ^b	286,36 ± 145,50 ^a	382,50 ± 108,69 ^{bc}

Les valeurs en colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes avec le test de Fisher au seuil de 5 %.

Les apports énergétiques des quantités moyennes des aliments de base consommées par l'ensemble des populations enquêtées sont répertoriés dans le **tableau 5**. La quantité moyenne de riz, d'igname et de banane

plantain cuite consommée par jour et par repas a été de $562,50 \pm 290,50$ g. Ces aliments apportent respectivement $1985,64 \pm 1025,37$ kcal, $1081,14 \pm 558,29$ kcal et $658,13 \pm 339,85$ kcal par repas par jour; soit 32,91 % à 99,28 % de couverture des besoins énergétiques pour un adulte dépensant au moins 2000 kcal par jour. Quant à la quantité moyenne de maïs et au manioc ingérée par jour et par repas, elle, était de $450,00 \pm 225,00$ g. Ces aliments de base (manioc, maïs) apportent respectivement $2045,85 \pm 1056,41$ kcal et $882,35 \pm 439,01$ kcal par jour et par repas. Selon Guy-Grand (2017) le besoin énergétique est de 2100 Kcal/j pour les femmes et 2600 Kcal/j pour les hommes. Mais en région tempérée et avec une activité physique moyenne ; ces valeurs peuvent se révéler inférieures ou supérieures aux besoins de certains individus. Ainsi, les apports énergétiques des aliments de base étudiés conviendraient pour les populations ayant des activités physiques intenses surtout pour les consommations moyennes de riz, igname et du maïs. Par contre, ceux exerçant des activités physiques modérées ou qui vivent dans la sédentarité, les apports énergétiques des quantités moyennes de la banane plantain et du manioc sont jugés acceptables pour leur équilibre nutritionnel. Toutefois, les apports énergétiques des quantités moyennes de riz, igname et maïs représentent un danger pour leur santé. Ces apports excessifs constituent l'une des causes de l'accumulation des composés glucidiques (nutriments énergétiques) pouvant entraîner certaines maladies chroniques telles que l'obésité, le diabète de type 2 et l'hypertension artérielle dont les cas ne cessent de croître en Côte d'Ivoire (N'Dri-Yoman, 2014).

Le riz est l'aliment le plus consommé par l'ensemble des populations rencontré avec une fréquence journalière de $33,66 \pm 6,05$ %. Ensuite vient le manioc qui est généralement plus consommé sous deux formes; (attiéké ou placali) ($23,09 \pm 5,28$ %). Puis, la banane plantain (bouillie et foutou) qui est consommée journalièrement par 17,70 % de la population enquêtée. Les proportions des populations qui consomment le maïs et l'igname sont respectivement de $5,86 \pm 6,14$ %, $5,14 \pm 3,86$ %. Ces aliments de base sont les moins consommés par les populations étudiées. Ces résultats sont différents de ceux rapportés par Sangaré et al. (2009). Selon ces auteurs, l'igname est considérée comme l'aliment ou la culture alimentaire de base la plus importante en Côte d'Ivoire. Cette différence serait due aux zones d'étude. En effet, des travaux réalisés par Bricas et Attaie (2009) ont révélé que l'igname est consommée en moindre quantité en ville qu'en zone rurale. Le Maïs est la céréale la plus cultivée en Côte d'Ivoire après le riz mais la moins consommée par la population investiguée. Cette faible fréquence journalière consommation du maïs par l'ensemble de la population pourrait s'expliquer par le fait que le met généralement confectionné à base de maïs

est la pâte de maïs non fermenté localement appelé « toh » qui serait un met fréquent en milieu urbain.

Les céréales, racines et tubercules sont les aliments de base consommés par 82,30 % des populations enquêtées dans les zones d'études. Ils représentent les principales sources énergétiques. Nos résultats sont similaires à ceux de Kouamé et Enoh (2011) qui notaient que les sous-groupes « racines et tubercules » et « céréales » contribuent de façon cumulée pour plus de 60% à la formation des disponibilités calorifiques en Côte d'Ivoire. L'igname et le manioc au niveau des racines et tubercules et le riz pour les céréales, sont les produits qui contribuent le plus à la formation des disponibilités calorifiques par personne par jour au niveau national (Kouamé et Enoh, 2011).

Tableau 5 : Apport énergétique des aliments de base consommé

Aliments	quantité moyenne consommées/repas/jour (g)	Fréquence de consommation journalière (%)	Apports énergétiques moyens/repas/jour
Riz	562,50 ± 290,50	33,66 ± 6,05	1985,64 ± 1025,37
Maïs	450,00 ± 225,00	5,86 ± 6,14	2045,85 ± 1056,41
Igname	562,50 ± 290,50	5,14 ± 3,86	1081,14 ± 558,29
Manioc	450,00 ± 225,00	23,09 ± 5,28	882,35 ± 439,01
Banane plantain	562,50 ± 290,50	17,70 ± 12,80	658,13 ± 339,85

Conclusion:

Cette étude avait pour objectif d'analyser la consommation qualitative et quantitative des différents groupes d'aliments dans quelques chefs-lieux de district de la Côte d'Ivoire. L'analyse des résultats montre que le score de diversité alimentaire individuel est en moyenne de 4,4. Le sous-groupe renfermant les épices, condiments et boissons est consommé par toute la population. La source de protéine la plus utilisée est le poisson et l'aliment de base le plus consommé est le riz. Les aliments de base couvrent en moyenne près de 658,13 à 2045,85 kcal par repas et par jour. Par ailleurs, d'autres travaux concernant le calcul de la dépense énergétique des individus doivent être effectués dans les zones urbaines et rurales afin de mener à mieux la surveillance de la qualité de l'alimentation en Côte d'Ivoire.

References:

1. Rigaux, C. (2014). *Méthodes de Monte Carlo du second ordre et d'inférence bayésienne pour l'évaluation des risques microbiologiques et des bénéfices nutritionnels dans la transformation des légumes*. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement. Thèse AgroParisTech. 209 p.
2. Becquey, E. (2006). *Validation d'un indicateur de diversité alimentaire par l'adequation du régime à Ouagadougou, Burkina*

- Faso*. Institut de Recherche pour le Developpement. Mémoire présenté pour l'obtention du Master 2 Recherche. Université Pierre et Marie Curie. 67p.
3. Anonyme1 (Université Médicale Virtuelle Francophone). (2011). *Méthodologie des enquêtes alimentaires*. Collège des enseignants de nutrition. Support de cours. 28 p.
 4. Kouassi, B., N’Goran, P., Tapé, C., Anon, B., Foto, M., Assi, Y., Daouda, S. & Gbané M. (2013). *Enquête sur la vulnérabilité alimentaire en milieu urbain : cas de la ville d’Abidjan*. Rapport final du Ministère de l’agriculture et du Ministère de la santé et de la lutte contre le SIDA (Côte d’Ivoire). 57p.
 5. Moyabi, S. & Affeli W. (2013). *Evaluation de la sécurité alimentaire à l’Ouest et au Nord*. Rapport du Bureau du Ministère de l’Agriculture, Direction des productions vivrières et de la sécurité alimentaire (Côte d’Ivoire). 26p.
 6. Anonyme 2 (2016). *Plan National Multisectoriel de Nutrition 2016-2020*. Rapport du Ministère de la Santé et de l’Hygiène Publique. 37p.
 7. Giezendanner, F. (2012). *Taille d’un échantillon aléatoire et Marge d’erreur*. 22 p.
 8. Biro G., Hulshof K., Ovesen L. & Amorim C. (2002). *Selection of methodology to assess food intake*. Eurpean Journal Clinic Nutrition .2,S25-S32.
 9. Johnson, R., Driscoll, P. & Goran M. (1996). *Comparison of multiple-pass 24-hour recall estimates of energy intake with total energy expenditure determined by the doubly labeled water method in young children*. Journal of American Dietetic Association92,1140–4.
 10. Kennedy, G., Ballard, T. & Dop, M. (2013). *Guide pour mesurer la diversité alimentaire au niveau du ménage et de l’individu*. Rapport de l’Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture (FAO). 56 p.
 11. Lawn, J. & Harvey, D. (2003) *La nutrition et la sécurité alimentaire à Kugaaruk , au Nunavut*. Livre 96 p.
 12. Atwater W.O., Benedict F.G. (1902). *Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body, 1898–1900*. United States. Office of experiment stations. Bulletin no. 109. Government printing office, Washington, DC.<https://doi.org/015962/bhl.title.123031>.
 13. Déré K.A.L., Djohan Y..F, Koffi K.G., Manhan K., Niamké AG. & Tiahou G. (2016). *Individual dietary diversity score for diabetic and hypertensive patients in Cote d’Ivoire*. International Journal of Nutrition 1(4) 25-34.

14. CNN (Conseil National de Nutrition). (2015). *Analyse de la situation nutritionnelle en côte d'ivoire*. Rapport 2015. 78p.
15. Sanginga, N. & Mbabu, A. (2015). *Racines et Tubercules (Manioc , Igname , Pomme de Terre et Papate Douce)*. Centre International de Conférence Abdou Diouf Dakar, Sénégal. 35 p.
16. Macauley, H. & Ramadjita, T. (2015). *Les cultures céréalières: riz, maïs, millet, sorgho et blé*. Centre International de Conférence Abdou Diouf Dakar, Sénégal 138 p
17. Shiraishi, Y., Takagi, Y., Hagi, S., Sato, A., Saeki, R., Bakaypko, K. & Tanoh, T. (2016). *Enquête sur les produits cuisinés et dérivés de Tsumiré / Surimi (produits emballés sous vide)*.Rapport de mission en Côte d'Ivoire. 102–20.
18. Ruf, F. (2010) “*Les Baoulé ne sont pas des oiseaux pour manger du riz*”. Alimentation migrations et écologie du sud-ouest ivoirien’, 1p.
19. Dubresson, Al. (1989) ‘*Urbanisation et consommation alimentaire citadine en Côte d’Ivoire*’, 190(1), pp. 3–8.
20. N’Zué B., Zohouri G. P., Djédji C. & Tahouo O. (2013). *Bien cultiver le manioc en Côte d’Ivoire*. Rapport du Centre National de Recherche Agronomique. 4p.
21. Guy-grand, B. (2017). Dernière minute. *Cahiers de nutrition et de diététique*. 9960(17), pp. 30029–9.
22. N’dri-Yoman, 2014. *Politique nationale de prévention et de prise en charge des maladies chroniques non transmissibles en Côte d’Ivoire*. Rapport du Ministère de la Santé et de la Lutte contre le SIDA, 30 p.
23. Sangaré A., Koffi E., Akamou F. & Fall C.A. (2009). *État des ressources phytogénétiques pour l’alimentation et l’agriculture: Second rapport national*. Rapport national sur l’état des ressources phytogénétiques pour l’alimentation et l’agriculture, 65p.
24. Bricas N, & Attaie H. (2009). *La consommation alimentaire des ignames*. Synthèse des connaissances et enjeux par la recherche. L’igname, plante séculaire et culture d’avenir, Cirad, Inra, Orstom, Coraf, Coll Colloques, pp.21-30.
25. Kouamé, G. & Enoh, G. (2011). *Dynamique de la consommation alimentaire en Côte d’Ivoire : principales tendances*. 4 p.

ANNEXES : PHOTOGRAPHIES POUR ENQUETE

A : 450 g

B : 675 g

B : 900 g

Attiéké



Placali



**Foutou
banane**



**Bouilli
d'igname**



**Foutou
d'igname**

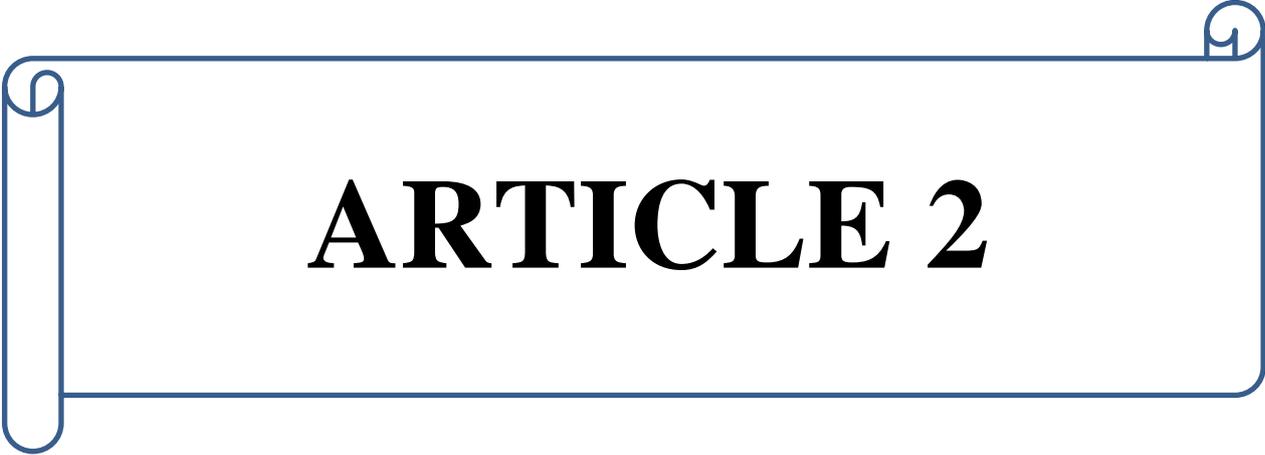


Riz



Kabatho





ARTICLE 2

Hypercholesterolemia Risk Related to Consumption of Palm Oil Produced in Côte d'Ivoire

B éhibolo A. Yobou é², Djedjro C. Akmel¹, Zita EB. N'Goran-Aw¹, R émi K. Coulibaly¹, Gnomblesson G. Tiahou² & Noglobou E. Assidjo¹

¹Institut National Polytechnique Houphou é-Boigny (INP-HB), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Unit of training and medical research, Alassane Outtara University, Bouaké, Côte d'Ivoire

Correspondence: B éhibolo Antoinette Yobou é Institut National Polytechnique Houphou é-Boigny (INP-HB), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. E-mail: yobouebantoinette@gmail.com

Received: February 13, 2019

Accepted: March 7, 2019

Online Published: May 6, 2019

doi:10.5539/jfr.v8n3p93

URL: <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n3p93>

Abstract

The purpose of this work is to determine the consumption pattern estimated from quantity and frequency of consumption of palm oil produced in Côte d'Ivoire in order to assess risk of hypercholesterolemia related to these oils. To achieve this objective, a cross-sectional survey was conducted with 417 randomly sampled people in seven district capitals of Côte d'Ivoire. This investigation shows that average of crude and refined R1 and refined R2 palm oil consumed are 24.52 mL, 25.88 mL and 24.13 mL per person per day, respectively. In addition, data on consumption frequency of different palm oils indicate that refined palm oils are most prevalent in population's dishes. Daily consumption frequency of crude and refined palm oils varies between 7.43 % and 85.40 %. These oils contain 32.95 % to 48.04 % palmitic acid (hazard). For a bioavailability of 100 % palmitic acid, the risk assessment for hypercholesterolemia indicates that 26.02 %, 25.80 % and 21.73 % of surveyed populations ingest higher quantities of palmitic acid. Those are greater than the recommended rate Anses (National Agency for Food Safety, Environment and Labor) during consumption crude and refined palm oils. 26,020, 25,800 and 21,730 cases of increase in serum cholesterol per 100,000 inhabitants after consumption crude, R1 and R2 oils. Concerning a bioavailability of 11 %, risk of hypercholesterolemia is 0 %; 0.02 % and 0.03 % respectively for the consumers of crude, R2 and R1 palm oils. Hypercholesterolemia risk varies from the mode of consumption and oils types.

Keywords: hypercholesterolemia, palm oil, risk

1. Introduction

Fats play a crucial role in many processes related to cell survival, growth and differentiation. They constitute one of the main energy sources (900 kcal / 100 g) for human consumption. In addition, fats are also carriers of vitamins, essential fatty acids and other minor constituents, beneficial to health (De Kock, Degreyt, Gibon & Kellens, 2005; Lecerf, 2011).

Dietary oils are from vegetable and animal origin. Vegetable oils are originate from palm oil and derivatives, soybean, rapeseed, sunflower, cotton, peanut and olive oils. Indeed, palm oil is the vegetable oil the most produced and consumed worldwide (Battaglia, 2010; Jacquemard, 2011). It is a major component of food security in Asian and tropical countries due to palm climate adaptation capacity and oil productivity (Jacquemard, 2011). Palm oil is very popular in Africa and occupies a prominent place in people diet of. According to Food and Agriculture Organisation (FAO), Côte d'Ivoire is the second largest producer in West Africa with an estimated production of 370,000 ton in 2014 (Faostat, 2017).

Palm oil presents many nutritional advantages because of its macronutrients (unsaturated fatty acids 50 %, saturated fatty acids 50 %) and micronutrients (carotenoids, vitamin E, phytonutrients) composition (Lecerf, 2013). In addition, numerous studies related to palm oil qualitative description have shown its beneficial effects for humanity (Mond éet al., 2010; Selvaduray et al., 2012; Wong & Radhakrishnan, 2012).

However, Go et al. (2014) and Sun et al. (2015) reported that there has been growing health concern about palm oil due to the link between saturated fatty acids, particularly palmitic acid, and coronary heart disease. Therefore, the imperative is to assess the health risk due to the consumption of palm oils. This paper deals with the

quantitative assessment of the population's exposure to the hypercholesterolemia risk due to the consumption of different palm oils produced in Cote d'Ivoire. To achieve this, consumption survey on crude and refined palm oils was first conducted in seven (7) district capitals of Côte d'Ivoire. Next, a chemical analysis of palmitic acid content of these oils was performed. The exposure estimation model was analyzed by the Monte Carlo simulation method to determine hypercholesterolemia risk related to these oils. The knowledge level of exposure of the populations in Côte d'Ivoire will allow on the one hand to better control the impacts of the crude and refined palm oils on the health of the populations and on the other hand, to ensure the safety of these consumers.

2. Methods

2.1 Equipment

Material used in this study consisted of crude palm oil (traditionally produced) and refined one (produced by refining industries in Côte d'Ivoire). In addition, food survey tools such as photographs and questionnaire were used to collect information.

2.2 Data Collection

Studies were conducted from November 2016 to February 2017 in seven Côte d'Ivoire areas (Abidjan, Abengourou, Dabou, Daloa, Korhogo, Man and Yamoussoukro). These cities were chosen because they are areas of district capitals. They also describe the way in which crude and refined palm oils are consumed in urban areas in the North, South, Center, East and West of Côte d'Ivoire.

2.3 Sampling

Interviewed people was taken via a systematic random sampling technique and this number of respondents was 417 (Giezendanner, 2012). They were interviewed about their crude and refined oils consumption. Respondent's number chosen was proportional to its demographic size (quota sampling). Frequency and quantities consisted of men and women having at least 18 years old obtained using the following equation:

$$N = t^2 \times [p (1-p) / e^2] \quad (1)$$

With n: the size of the sample,

e: the margin of error (5 %),

t: the margin coefficient deducted from the confidence rate (1.96),

p: the proportion of the elements of the mother-population that has a given property (50 %).

In addition, crude and refined (brand R2 and R1) palm oil samples were collected from trading areas and near the resellers and producers of crude palm oil. A non-probability sampling method called "snowball" was used to collect the samples from these seven areas (N'Deye, 2001). In each area, 500 mL oils samples were taken from containers usually used for trading. The sample were wrapped in aluminum foil sheets and stored in a thermos shielded from light at temperature varying from 25 °C to 30 °C for transport and storage in laboratory (Johnston & Sabin, 2010).

2.4 Questionnaire for Crude and Refined Palm Oils Coconsumption

As part of this work, a questionnaire on the usual consumption of crude and refined palm oils was established. This questionnaire concerned frequency and quantities of palm oils consumption by respondents.

Frequency questionnaire is used to evaluate the usual consumption of certain foods. It consists of a food or foods list with associated consumption frequency categories (in number of times per day, per week, per month, etc.). Method used herein is Cade, Thompson, Burley, & Warm (2002) one in which a respondent checks or ticks frequency that most closely approximates his usual consumption. Frequency list used in this investigation consisted of different frequency categories (never, at least once a day, once a week, two to three times a week, every two weeks, once a month). In addition, determination of quantities of palm oil consumed was made by asking respondents to either describe quantity of oil purchased and the price or, to identify from a list of photographs exhibiting different volumes of oil, one that comes closest to the amount commonly consumed.

2.5 Fatty acid Profile

Fatty acid composition was determined by analysis of fatty acid methyl esters using gas chromatography (GC) according to standard NF EN ISO 5508 (1995). This method involves extraction and esterification of fatty acids. For that, 20 mg of oil fraction was solubilized in 1 mL of TBME (tert-butyl methyl ether). After stirring and filtration with a 0.45 µm filter of, 100 µl of filtered solution were put in insert. Then 50 µl of TMSH (0.5 M

trimethylhydroxide hydroxide in methanol) were added for more volatile fatty acids. Latter are identified by comparison of their chromatograms with those of pure controls analyzed under the same conditions. Chromatograph used is of the Varian type (varian CPG, Sydney, Australia), equipped with a flame ionization detector (FID).

2.6 Exposure Estimation and Risk Assessment of Hypercholesterolemia Related to Palm Oil Consumption

According to Codex Alimentarius definition, exposure estimation is quantitative and / or qualitative assessment of probable intake of hazards (biological, chemical, physical) from food. It consists of quantifying level of chemicals, microorganisms or toxins human populations, subgroups of population and individuals are exposed, in terms of magnitude, duration and frequency.

In this work, exposure assessment consisted of determining amount of palmitic acid ingested during crude and refined palm oils consumption. To define this exposure, amount of palm oil ingested distribution (Q), palmitic acid concentration distribution (C), and frequency of consumption (F) distribution of these oils were determined from investigations and chemical analyzes. Thus, exposure estimation was determined according to following equation:

$$I = C \times Q \times F \quad (2)$$

With: I = amount of distribution of palmitic acid ingested (g); C = concentration distribution of palmitic acid in palm oils (g / 100 g);

Q = amount of distribution of palm oil ingested per person (g); F = frequency distribution of consumption of palm oils (d^{-1}).

Data obtained from different distributions relating to variables C, Q and F were resampled via Bootstrap method, which increased original sample size to 20,000. The quantity I of palmitic acid ingested as a function of C, Q and F was estimated using Monte Carlo simulation. In total, 1,500 iterations were performed. Each simulation is a numerical calculation corresponding to a possible situation, more or less probable, of a real system. Results of this simulation represent amounts of palmitic acid ingested during crude and refined palm oils consumption. Following Anses recommendations described by Guy-Grand, (2017), Recommended Nutritional Intake (RNI) in palmitic acid must not exceed 8 % of 2,000 Kcal/day requirements of an adult. This RNI corresponds to a daily consumption of 17.78 g of palmitic acid. Thus, by reporting different amounts of palmitic acid ingested by individuals at threshold of RNI (17.78 g / day), two groups of consumers are distinguished. On the one hand, proportions of populations ingesting quantities of palmitic acid at doses lower than or equal to the threshold (17.78 g / day). They are not likely to increase their serum cholesterol levels after palm oils consumption of "Probability P1". This probability P1 is obtained by projecting limit dose of palmitic acid (17.78 g) on cumulative density function described by different iterations. On the other hand, we observe a proportion of populations in the event of probable increase of serum cholesterol level (case where ingestion of quantity of palmitic acid content in oils is greater than 17.78 g / day) " Probability P2 ". This probability describes risk of hypercholesterolemia related to the ingestion of palmitic acid contained in crude and refined palm oils. P2 is defined according to equation (3):

$$P2 = 1 - P1 \quad (3)$$

P1: Proportions of populations not subject to a probable increase of their blood cholesterol (hypercholesterolemia) after crude and refined (R1 and R2) palm oils consumption.

P2 "Risk": Proportions of populations with a probable increase of their blood cholesterol (hypercholesterolemia) after crude and refined (R1 and R2) palm oils consumption.

2.7 Bioavailability of Palmitic Acid Due to Crude and Refined Palm Oils Consumption

Berry, (2009) reported that all palmitic acid in palm oils is bioavailable as a result of their consumption.

Indeed, studies based on chronic consumption of saturated fatty acid by humans, precisely, mimicking the current dietary intake of palmitate, have shown same deleterious metabolic effects of palmitic acid consumption, regardless its position within triglycerides. More precisely, palmitic acid has the same digestibility, absorption rates and has the same effects on plasma lipid concentrations regardless its position (Berry, 2009).

However, according to May & Nesarretnam (2014), bioavailability of palm oil palmitic acid is a function of this fatty acid position in triglyceride. In palm oil, 87 % of fatty acids in position 2 are unsaturated (oleic acid and linoleic acid), whereas only 11 % of palmitic acid are in position 2. However, pancreatic lipase hydrolyzes fatty acids in positions 1 and 3, become free. They can form soaps in calcium presence. This reduces their absorption, while 2-monoglyceride persists, absorbed as such, and is therefore better bioavailable (May & Nesarretnam,

2014).

Thus, in this work, quantitative assessment of hypercholesterolemia risk related to ingestion of crude and refined palm oils palmitic acid consumed will consider both cases: On the one hand, assessment of hypercholesterolemia risk taking into account bioavailability of all (100 %) palmitic acid contained in red and refined palm oils produced in Côte d'Ivoire. On the other hand, estimation of hypercholesterolemia risk related to bioavailability of 11 % palm oils palmitic acid.

3. Results

Assessment of hypercholesterolemia risk was defined by results obtained from consumption frequency, palm oil consumed quantities distribution and distribution of palmitic acid concentration in crude and refined oils.

3.1 Frequency of Oils Consumption

Different oils consumption frequencies are shown in Figure 1. Crude palm oil is less common in diet of investigated populations with 7.43 % daily frequency. Majority of surveyed population (49.26 %) consumed crude palm oil at least once a month. Moreover, rafined palm oil R1 and R2 are most present in dishes of this population investigated. These people consumed on daily palm oils R1 and R2 respectively at 85.40 % and 77.72 %.

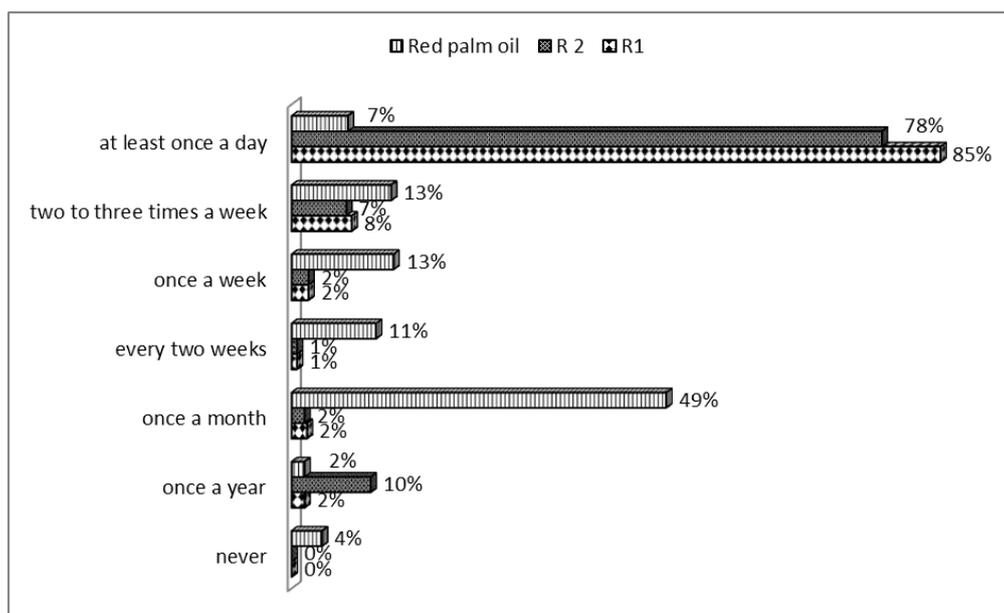


Figure 1. Frequency of crude and palm refined oils consumption

3.2 Quantity of Oils Consumed

Figure 2 depicts the distribution of crude and refined palm oil quantities consumed. Minimum daily quantities of crude and refined palm oils consumed by investigated population are in range from 0 to 30 mL / day. Maximum amounts are in a range from 90 to 125 mL / day. Quantities average consumed are between 23 and 25 mL per individual per day.

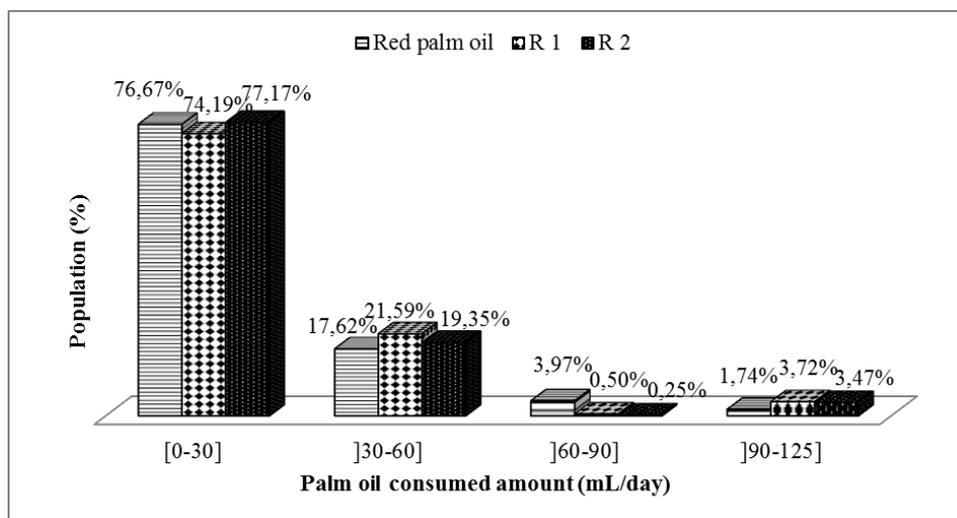


Figure 2. Distribution of crude and refined (R1 and R2) palm oils quantities consumed daily

3.3 Fatty Acid Profile of Oils Samples

Saturated Fatty Acid (SFA) and Unsaturated one (UFA) of crude and refined palm oils samples collected from different areas are listed in Table 1. Crude palm oils samples composition in saturated fatty acid and unsaturated one are ranges from 41.38 to 54 % for SFA and from 46.00 to 58.62 % for UFA. R1 and R2 palm oils contain percentages of SFA and UFA. For SFA, they are 41.54 and 41.21 % for R1 and R2 respectively. Concerning UFA, values establish at 58.46 and 58.78 %. In addition, palmitic acid, which represents the chemical hazard studied, is present at levels ranging from 32.95 to 48.58 % in artisanally produced crude palm oil. Palmitic acid contents varied from one locality to another. Thus, crude palm oil from Dabou contains the highest palmitic acid namely 48.58 %, while, samples from Man present the lowest value (32.95 %). Refined palm oils R1 and R2 contain respectively 35.29 % and 34.98 % palmitic acid.

Table 1. Fatty acid content of crude and refined palm oils

Cities		Crude palm oils						refined palm oils		
		Abidjan	Daloa	Korhogo	Yakro	Abengourou	Man	Dabou	R1	R2
FATTY ACIDS (%)	C14:0 Myristate	0.56	0.57	0.71	0.43	0.76	0.58	0.55	0.54	0.54
	C16:0 Palmitate	34.74	37.04	37.41	34.38	39.66	32.95	48.04	35.29	34.98
	C16:1n-7c Palmitoleate	0.08	0.11	0.1	0.07	0.12	0.07	0.11	0.11	0.12
	C18:0 Stearate	6.97	5.55	6.91	8.18	5.15	7.39	5.02	5.24	5.22
	C18:1n-9c Oleate	49.05	45.21	45.25	46.57	41.3	50.58	35.41	48.09	48.28
	C18:1n-7c vacenate	0.48	0.41	0.51	0.42	0.66	0.5	0.65	0.65	0.67
	C18:2n-6c Linoleate	7.38	10.4	8.36	9.08	11.56	7.19	9.55	9.61	9.72
	C18:3n-3 α-Linolenate	0.31	0.28	0.31	0.41	0.31	0.28	0.28	-	-
	C20:0 Arachidate	0.43	0.43	0.44	0.45	0.48	0.46	0.39	0.47	0.47
TOTAL FATTY ACIDS (%)	AGS	42.70	43.59	45.47	43.44	46.05	41.38	54.00	41.54	41.21
	AGI	57.30	56.41	54.53	56.55	53.95	58.62	46.00	58.46	58.78

3.4 Risk of Hypercholesterolemia Linked to Consumption of Crude and Refined Palm Oils (Bioavailability of Palmitic Acid to 100%)

Figures 3, 4 and 5 show the ingestion probability as a function of the palmitic acid ingested amount for crude, R1 and R2 oils, based on the simulations results carried out by Monte Carlo method. This data consider a 100 % of bioavailability of palmitic acid contained in crude, R1 and R2 oils. These figures show that proportions of populations that ingest palmitic acid quantities at doses less than or equal to the Recommended Nutritional Intake (RNI) during consumption of crude and refined R1 and R2 palm oils are respectively 73.98 %, 74.20 % and 78.27 %. These "positive" probabilities indicate that about 74 % to 78 % of populations in Côte d'Ivoire

consume crude and refined palm oils at rational quantities respecting Recommended Nutritional Intake. But, 21.73 %, 25.50 % and 26.02 % of this Ivorian population consume refined (R2, R1) and crude palm oils at doses exceeding Recommended Nutritional Intake.

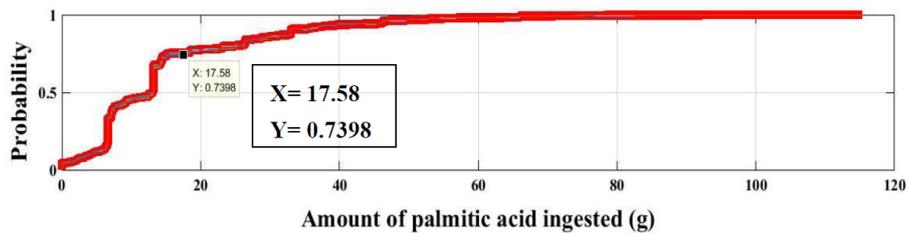


Figure 3. Risk of hypercholesterolemia at 100% bioavailability of palmitic acid for crude palm oil

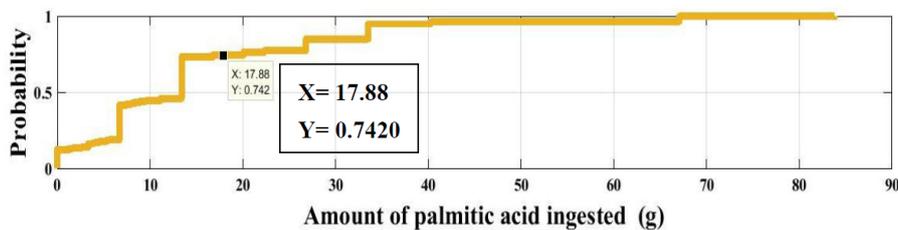


Figure 4. Risk of hypercholesterolemia at 100% bioavailability of palmitic acid for refined palm oil (R1)

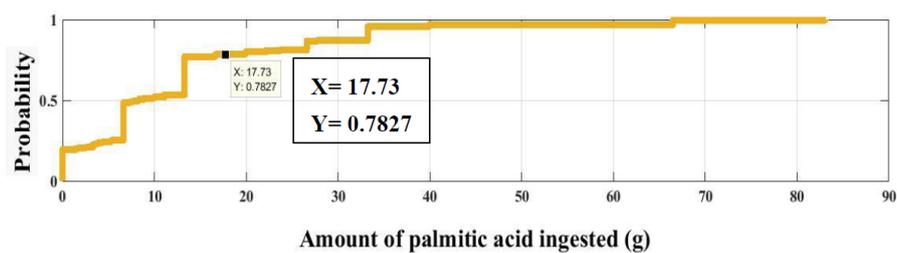


Figure 5. Risk of hypercholesterolemia at 100% bioavailability of palmitic acid for refined palm oil (R2)

3.5 Hypercholesterolemia Risk Related to Consumption Crude and Palm Refined Oil (Bioavailability of Palmitic Acid at 11 %)

In the same mood, Figures 6, 7 and 8 describe hypercholesterolemia risk related to ingestion of palmitic acid contained respectively in crude and refined (R2 and R1) palm oils at 11 % bioavailability. Considering that only 11 % palmitic acids of crude and refined palm oils are bioavailable after their ingestion, hypercholesterolemia risk is very low for refined palm oils (R2 and R1) and is almost zero for crude palm oil.

Positive probabilities that is proportion of populations ingesting amounts of palmitic acid at levels less than or equal to the Recommended Nutritional Intake are 100 %, 99.98 % and 99.97 % respectively for consumption of crude, R2 and R1 palm refined oils. These proportions indicate that per 100,000 people, representing the whole or 99,970 to 99,980 of these people will probably be not subject to increase in serum cholesterol levels after consumption crude, R2 and R1 refined palm oils. However, 20 to 30 people will be at risk of hypercholesterolemia after consuming these oils.

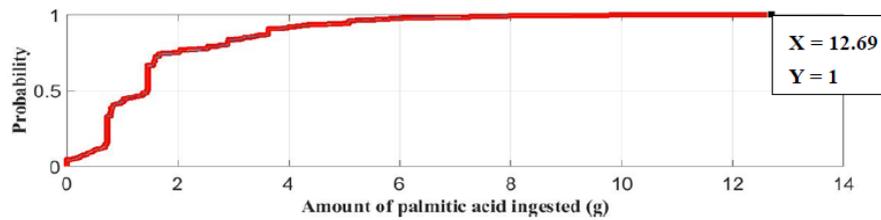


Figure 6. Risk of hypercholesterolemia at 11% bioavailability of palmitic acid for crude palm oil

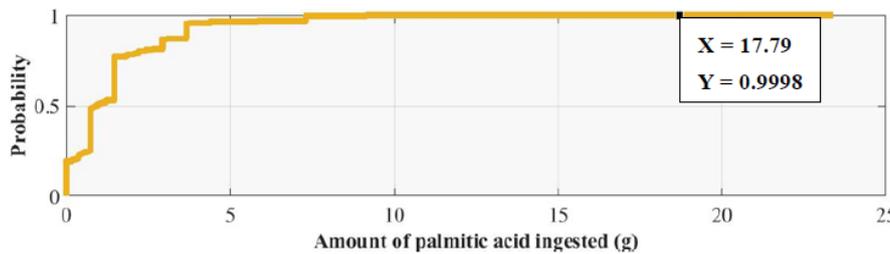


Figure 7. Risk of hypercholesterolemia at 11% bioavailability of palmitic acid for refined palm oil (R2)

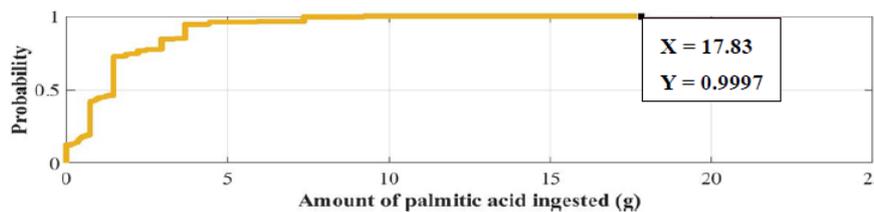


Figure 8. Risk of hypercholesterolemia at 11% bioavailability of palmitic acid for refined palm oil (R1)

4. Discussion

Results of food surveys have shown that crude palm oil is less common in investigated populations diet. Indeed, daily frequency is only 7.43 %. This daily crude palm oil consumption frequency is lower than that observed in Congo, which is 11.4 % (Moutoula, Mananga, Elenga, & Kinkela, 2016). Most represented crude palm oil in investigated population is at least once a month, which is 49.26 %. This monthly consumption frequency of crude palm oil is similar to that observed in Yaoundé Cameroon (approximately 44 % per month) (Rebena, 2016). However, crude palm oil consumption frequency and that of Yaoundé seem to be lower than those of children from 6 to 36 months old in Benin. Nearly 70 % of these children consume crude palm oil at least of once a week (Hounkpatin, 2011). Indeed, crude palm oil is an excellent vitamins A and E source (Morin & Pagès-Xatart-Parès, 2012; Sen, Khanna, & Roy, 2006). Regular consumption of this oil can cover consumer’s nutritional needs including vitamins A and E.

Moreover, refined oils (R1 and R2) are the most present in dishes of population investigated. These people consume R1 and R2 palm refined oils on a daily basis at 85.40 % and 77.72 %, respectively. This daily consumption frequency for refined palm oil in Côte d’Ivoire reflects world demand since according to Guillaume-Gentil et al. (2016), palm oil is most produced and consumed vegetable oil in world over the last ten years (Guillaume-Gentil et al., 2016). Similarly, it is the cheapest food oil in world (Jacquemard, 2011), so accessible to all markets. In addition, refined oils are most used for frying food in Côte d’Ivoire (Cheyns, 2001).

Distribution of crude and refined palm oil consumption quantity show that minimum amounts vary between 0 and 30 mL and maximum are between 90 and 125 mL per day. Most consumed quantities are those between 0 and 30 mL referring to 74.19 % to 77.17 % of studied population. The least consumed amounts range from 90 to 125 mL per day (1.74 % to 3.47 % of population). The mean consumed quantities are between 23 and 25 mL per

person per day. These average quantities are slightly lower than those consumed in Ghana as described by Ofosu-Budu and Sarpong (Ofosu-Budu & Sarpong, 2013), saying that each individual in Ghana consumes between 30 and 33 mL of palm oil a day. In fact, the quantities of crude and palm refined oils consumed are the same within study population. In addition, refined palm oil consumed amount has decreased.

According to the work of Cheyns in 2001 (Cheyns, 2001) about Côte d'Ivoire people crude palm oil consumption, refined palm oils were consumed four times, in quantities than crude palm. Therefore, the consumed quantity reduction of palm oil can be due to awareness campaigns on diseases risk related to a diet rich in oil including obesity, diabetes, high blood pressure and cardiovascular disease.

Regarding chemical analyses, saturated fatty acid (SFA) and unsaturated one (UFA) contents in studied artisanally produced crude palm oils ranged from 41.38 % to 54 % (SFA) and from 46.00 % to 58.62 % for UFA. These values are close to those reported by Mondé et al. in 2008 (Mondé et al., 2008), with SFA levels varying between 40 % and 52 % and from 48 % to 60 % for UFA. Nevertheless, this composition of SFA and UFA differs from that observed by N'goran et al. in 2017 (N'Goran et al., 2017) with lower proportions of SFA (34.8-39.3 %) in crude palm oil collected in Côte d'Ivoire four districts. Also, UFA content (58.6-64.3 %) of these four areas is higher than that obtained in this work. This difference in saturated and unsaturated fatty acid content in artisanally produced edible crude palm oil is thought to be due to the variety of palm oil seeds used in production of these oils or to type of soil on which palms grow, and climate change. Indeed, according to Boyer's work in 2010 (Boyer, 2010) on vegetable oils, it appears that these are triglycerides, whose composition depends on plant nature, its growing conditions, soil and season. Likewise, R1 and R2 refined palm oils have more or less identical SFA and UFA contents. R1 palm refined oil contains SFA 41.54 % and UFA 58.46 %. While R2 oil contains 41.21 % and 58.78 % respectively in SFA and UFA. These results are close to those obtained by Chatigre in 2014 (Chatigre, 2014). His work revealed that Dinor's (palm refined oil) contained 44.09 % SFA and 55.91 % UFA.

In addition, palmitic acid, which represents hazard studied, is present at levels ranging from 32.95 % to 48.04 % in artisanally produced crude palm oil. Dabou's crude palm oil has highest palmitic acid content with a value of 48.04 %. While, Man has the lowest one (32.95 %). These palmitic acid contents are close to those described by Lecerf with values ranging from 39.3 % to 47.5 % (Lecerf, 2013). Refined palm oils R1 and R2 contain respectively 35.29 % and 34.98 % of palmitic acid. These results are close to those obtained by Chatigre in 2014 (Chatigre, 2014), which revealed the presence of 37.97 % of palmitic acid in Dinor. Indeed, palmitic acid is a fatty acid that is part of cell membrane constituents. It assures very important roles in humans, namely, energetic expenditure, membrane elasticity and viscosity. It also carries fat-soluble vitamins such as vitamins A, D, E and K. Besides, it can cause LDL and HDL cholesterol levels increase after an excessive ingestion (Legrand, 2007; Seghier, 2014).

Moreover, probabilities indicate that about 74 % to 78 % of populations in Côte d'Ivoire consume crude and refined palm oil at rational quantities respecting recommended nutritional intake.

Comparing these probabilities to 100,000 inhabitants, we find that approximately 73,980, 74,200 and 78,270 consumers of oils in different forms are not at hypercholesterolemia risky level. However, risk determination, that is, probabilities of serum cholesterol increases cases after palm oil consumption indicate that approximately 26.02 %; 25.50 %; 21.73 % of populations investigated ingest quantities of palmitic acid greater than the rate recommended by Anses respectively for R1, R2 and crude palm oils. That represents 26,020, 25,800 and 21,730 cases for 100,000 inhabitants. Risk of hypercholesterolemia is high considering that palmitic acid of crude and refined palm oils produced and consumed by population in Côte d'Ivoire is 100 % bioavailable. Nevertheless, precipitation of palmitic acid by formation of calcium soap (Lecerf, 2013) would lead to a reduction of palmitic acid bioavailable level which would reduce hypercholesterolemia risk due to palm oils consumption.

However, when palmitic acid bioavailability is get to 11 %, Positive probabilities that proportion of populations ingesting palmitic acid amounts at levels less than or equal to recommended nutritional intake are 100 %, 99.98 % and 99.97 % respectively for consumption of crude, R2 and R1 refined palm oils. However, 20 to 30 people per 100,000 will be at hypercholesterolemia risk after consuming refined palm oil. Indeed, palm oil consumption impact on markers of cardiovascular risk (cholesterol especially), depends on several parameters such as quantities consumed, and nutritional context (linoleic acid and cholesterol content of diet, total lipid intake) (Lecerf, 2013). Also, it is related to consumption frequency and bioavailability of the hazard.

In conclusion, the fundamental role of oils in body is to provide fatty acids giving the necessary energy for good body functioning. But, ingestion of saturated fatty acids such as palmitic acid can lead serum cholesterol (LDL and HDL) increase. This hypercholesterolemia depends on various parameters, namely consumption frequency,

palm oil quantity consumed, palmitic acid concentration in oils and its bioavailability.

References

- Battaglia, M. (2010). Drowned in palm oil. The explosion of world demand. *The world magazine No. 39, World Supplement No. 20336*, pp. 14.
- Berry, S. (2009). Triacylglycerol Structure and Interesterification of Palmitic and Stearic Acid-Rich Fats: An Overview and Implications for Cardiovascular Disease. *Nutrition Research Review*, 22, 3-17. <https://doi.org/10.1017/S0954422409369267>
- Boyer, A. (2010). Design of new synthons derived from oleic acid: application to polyurethane synthesis. *Thesis of University of Bordeaux 1 doctoral school of chemical sciences*, pp. 201.
- Cade, J., Thompson, R., Burley, V., & Warm, D. (2002). Development, Validation and Use of Food-Frequency Questionnaires. *Health Nutrition*, 5(4), 567-587. <https://doi.org/10.1079/PHN2001318>
- Chatigre, K. O. (2014). Comparative study of oils of canele (*Canarium schweinfurthii*) and palm (*Elaeis guineensis*): physicochemical, biochemical and nutritional characterization. *Thesis of Felix Houphouët-Boigny University*, pp. 170.
- Cheyns, E. (2001). Urban consumption of red palm oil in Côte d'Ivoire: what markets ?. *Oilseeds, Fats, Lipids*, 8, 641-5. <https://doi.org/10.1051/ocl.2001.0641>
- De Kock, J., De Greyt, W., Gibon, V., & Kellens, M. (2005). Recent Developments in Refining and Modification: Removal of Contaminants in Edible Oils and Reduction of Trans Fatty Acids. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids Journal*, 12, 378-384. <https://doi.org/10.1051/ocl.2005.0378>
- Faostat. (2017). faostat.fao.org, 1p.
- Giezendanner, F. D. (2012). *Size of a Random Sample and Error Margin*. pp. 1-22.
- Go, R-E., Hwang, K-A., Kim, Y-S., Kim, S-H., Nam, K-H., & Choi, K-C. (2014). Effects of Palm and Sunflower Oils on Serum Cholesterol and Fatty Liver in Rats. *Journal of medicinal food*, 00(0), 1-7. <https://doi.org/10.1089/jmf.2014.3163>
- Guillaume-Gentil, A., S., Zhang, S. G., Yanchun, M., & Branko, D. B. (2016). Palm Oil. *United Nations conference on trade and development*. pp. 21.
- Guy-grand, B. (2017). Last minute. *Dietary Nutrition book*, 52(8), 1. [https://doi.org/10.1016/S0007-9960\(17\)30029-9](https://doi.org/10.1016/S0007-9960(17)30029-9)
- Houkpatin, A. W. (2011). Evaluation of the Potential for Covering Vitamin A Needs of Young Children from the Sauces accompanying Staple Food Consumed in Benin. *Thesis of Montpellier 2 Sciences and Techniques University of Languedoc*, pp. 266.
- Jacquemard, J-C. (2011). the oil palm. *Book*, pp. 275.
- Johnston L. G., & Sabin, K. (2010). Sampling hard-to-reach populations with respondent driven sampling. *Methodological Innovations Online*, 5(2), 38-48. <https://doi.org/10.4256/mio.2010.0017>
- Lecerf, J. M. (2011). Vegetable oils: Particularities and usefulness. *Medicine of Evil Metabolic*, 5(3), 257-262. [https://doi.org/10.1016/S1957-2557\(11\)70237-1](https://doi.org/10.1016/S1957-2557(11)70237-1)
- Lecerf, J. M. (2013). Palm Oil: Nutritional and Metabolic Aspects Role on Cardiovascular Risk. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 20(3), 147-159. <https://doi.org/10.1684/ocl.2013.0507>
- Legrand, P. Fats: structure, functions, recommended dietary intakes. *Dietary Nutrition book*, 42, 7-12.
- May, C., & Nesaretnam, K. (2014). Research advances in nutritional palm oil. *European Journal of Lipid Sciences. Technology*, 116, 1301-15. [https://doi.org/10.1016/S0007-9960\(07\)91234-1](https://doi.org/10.1016/S0007-9960(07)91234-1)
- Mondé A. A., Michel, F., Carbonneau, M., Tiahou, G., Vernet, H., Duvernay-Eymard, B., ... Sess, D. (2008). Content fatty acids and antioxidants of Côte d'Ivoire palm oil. *African Pharmacopoeia and Traditional Medicine*, 15, 11-17.
- Mondé A. A., Carbonneau, M. A., Dabaté S., Konan, E., Sess, D., & Cristol, J. P. (2010). Effects of Palm Oil Polyphenol Extracts in the In Vitro Oxidation of LDL by Copper. *Journal of Sciences Pharmacology Biology*, 11(1), 47-56.
- Moutoula, B. E., Mananga, V., Elenga, M., & Kinkela, T. (2016). Study of the eating habits of Brazzaville households with a view to combating vitamin A deficiency. *Journal of Applied Biosciences*, 97, 9174-9186.

<https://doi.org/104314/jab.v97i145>

- Morin, O., & Pages-Xatart-Parès, X. (2012). Oils and vegetable fats: functional resources and nutritional interest. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 19(2), 63-75. <https://doi.org/10.1051/ocl.2012.0446>
- N'Deye, A. K. (2001). Study of the chemical composition and quality of homemade vegetable oils consumed in Senegal. *Thesis of Pharmacy, University Cheik Anta Diop of Dakar (Senegal)*, pp. 99.
- N'Goran, K. D. V., Kouassi, K. A., Pohé J., Angbo-Kouakou, M. E., Yédji, D., & Adima, A. A. (2017). Geographical Indication of Palm Oil of "Man "(Mountain District-Ivory Coast): A Comparative Analysis of Physico-Chemical Properties and Profiles in Fatty Acids Of Some Ivory Coast Red Palm Oils. *European Scientific Journal*, 13(18), 373-385. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n18p373>
- Ofosu-Budu, K., & Sarpong, D. (2013). Growth of the Ghana Palm Oil Industry: Implications for Smallholder Farmers and Long-term Sustainability. In: *Rebuilding Africa's Food Potential West*, A. Elbehri (ed.), FAO / IFAD, 375-422.
- Rebena, A. (2016). Consumption, perception and uses of the red oil of housewives and restorers of Yaounde, *Graduation thesis for the ISTOM engineering diploma in international agro-development in Higher School of International Agro-Development of Yaounde*, (Comeroun), pp. 104.
- Selvaduray, K., A., Radhakrishnan, A. K., Kutty, K., & Nesaretnam, K. (2012). Palm tocotrienols decrease levels of pro-angiogenic markers in human umbilical vein endothelial cells (huvec) and murine mammary cancer cells. *Genes Nutrition*, 7(1), 53-61. <https://doi.org/10.1007/s12263-011-0223-0>
- Seghier, Y. (2014). Dietary Fatty Acids: The Lines Move !. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 12, 473-4.
- Sen, C., Khanna, S., & Roy, S. (2006). Tocotrienols: vitamin E beyond tocopherols. *Life Sciences*, 78(18), 2088-2098. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.12.001>
- Sun, Y., Neelakantan, N., Wu, Y., Lote-Oke, R., Pan, A., & Dam, R. M. V. (2015). Palm Oil Consumption Increases LDL Cholesterol Compared with Vegetable Oils Low in Saturated Fat in a Meta-Analysis of Clinical Trials¹⁻³. *The Journal of Nutrition*, 145, 1549-58. <https://doi.org/10.3945/jn.115.210575>
- Wong, R. S., & Radhakrishnan, A. K. (2016). Tocotrienol research: Past into Present. *Nutrition Review*, 70(9), 483-490. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00512.x>

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

RESUME

L'huile de palme est la source de lipides la plus utilisée dans les industries alimentaires et dans les ménages. Cette huile, du fait de sa richesse en acide palmitique, serait impliquée dans la survenue des maladies cardiovasculaires. L'objectif de cette étude est d'effectuer une évaluation bénéfice-risque liée à la consommation des huiles de palme produites en Côte d'Ivoire. Pour atteindre cet objectif, la fréquence et les quantités d'huile de palme consommées ont été déterminées à partir d'une enquête alimentaire. Puis, la composition chimique des huiles de palme a été déterminée et une analyse biologique chez des rats Wistars ayant consommés de l'huile de palme rouge a été réalisée. Les résultats de l'enquête ont montré qu'en moyenne, les quantités d'huiles de palme rouge et raffinée consommées par jour et par personne étaient comprises entre 22 et 23 g. Ces huiles contenaient près de 7,67 à 150,1 mg ER/kg de provitamine A et des quantités d' -, -tocophérol et de -, -, -tocotriénol variant entre 2,48 et 70,71 %. Par ailleurs, l'évaluation quantitative des bénéfices nutritionnels des huiles de palme a révélé que les pertes en provitamine A et en vitamine E des échantillons d'huiles de palme rouge et raffinées augmentent avec le temps de conservation et d'exposition. Celles-ci variaient de 0 à 94,49 % pour la provitamine A et de 0 à 83,42 % concernant la vitamine E durant les quatre (4) semaines de conservation ou d'exposition solaire. L'étude de la biodisponibilité des vitamines A et E chez des rats wistars durant 12 heures de digestion de l'huile de palme rouge a révélé une variation des taux des triglycérides (0,17 – 10,41 g/L), cholestérol total (0,12 – 1,61 g/L). Ainsi que ceux des cholestérols HDL (0,09 – 0,53 g/L), LDL (0,007 – 1,71 g/L) et des vitamines A (1,52 – 53,90 %) et E (0,02 – 27,33 %). Les cholestérols et triglycérides étaient biodisponibles après consommation de l'huile de palme rouge. Le taux de LDL cholestérol au cours des 12 heures d'expérimentation était inférieur au seuil (2,5 g/L) décrivant un risque d'hypercholestérolémie. De même, le risque d'hypercholestérolémie à partir de la concentration en acide palmitique des huiles, de la fréquence et de la quantité d'huile de palme consommée a été évalué à des biodisponibilités de l'acide palmitique à 100 % et 11 %. Pour 100000 habitants, les risques sont de 26020, 25800, 21730 puis de 0, 20 et 30 respectivement à 100 % et à 11 % de biodisponibilité de l'acide palmitique. Le mode de consommation des huiles de palme rouge et raffinées en Côte d'Ivoire ne présente pas de risque significatif pour la population.

Mots clés : quantitative, bénéfice, évaluation, nutritionnels, hypercholestérolémie, huile de palme, risque

Abstract

Palm oil is the most widely used source of fat in the food industry and in households. This oil, due to its high palmitic acid content, is believed to be involved in the occurrence of cardiovascular diseases. The objective of this study is to carry out a benefit-risk assessment related to the consumption of palm oils produced in Côte d'Ivoire. To achieve this objective, the frequency and quantities of palm oil consumed were determined from a food survey. Then, the chemical composition of palm oils was determined and a biological analysis was carried out in Wistar rats that consumed red palm oil. The results of the survey showed that, on average, the quantities of red and refined palm oil consumed per day and per person ranged from 22 to 23 g. These oils contained about 7.67 to 150.1 mg ER/kg of provitamin A and amounts of -, -tocopherol and -, -, -tocotrienol ranging from 2.48 to 70.71%. In addition, quantitative evaluation of nutritional benefits of palm oils revealed that the losses of provitamin A and vitamin E from samples of red and refined palm oils increase with storage and exposure time. These ranged from 0 to 94.49% for provitamin A and from 0 to 83.42% for vitamin E during the four (4) weeks of storage or sun exposure. Study of bioavailability of vitamins A and E in wistar rats during 12 hours of red palm oil digestion revealed a variation in triglyceride (0.17 - 10.41 g/L), total cholesterol (0.12 - 1.61 g/L) levels. As well as HDL (0.09 - 0.53 g/L), LDL (0.007 - 1.71 g/L) and vitamins A (1.52 - 53.90%) and E (0.02 - 27.33%) cholesterol. Cholesterol and triglycerides are bioavailable after consuming red palm oil. The LDL cholesterol level during the 12 hours of experimentation is below the threshold (2.5 g/L) describing a risk of hypercholesterolemia. Similarly, the risk of hypercholesterolemia from the concentration of palmitic acid in oils, the frequency and quantity of palm oil consumed was assessed at 100% and 11% bioavailability of palmitic acid. For 100,000 inhabitants, the risks are 26020, 25800, 21730 and then 0, 20 and 30 respectively at 100% and 11% bioavailability of palmitic acid. The consumption pattern of red and refined palm oils in Côte d'Ivoire does not present a significant risk to the population.

Keywords: quantitative, benefit, evaluation, nutritional, hypercholesterolemia, palm oil, risk