



**HAL**  
open science

# Caractérisation du système de transformation, consommation et propriétés rhéologiques de la purée de niébé "adowè" au Togo

Ekoué Teko

► **To cite this version:**

Ekoué Teko. Caractérisation du système de transformation, consommation et propriétés rhéologiques de la purée de niébé "adowè" au Togo. Génie des procédés. Université Grenoble Alpes [2020-..], 2024. Français. NNT : 2024GRALI007 . tel-04593694

**HAL Id: tel-04593694**

**<https://theses.hal.science/tel-04593694v1>**

Submitted on 13 Sep 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES**

École doctorale : I-MEP2 - Ingénierie - Matériaux, Mécanique, Environnement, Energétique, Procédés, Production

Spécialité : MEP - Mécanique des fluides Energétique, Procédés

Unité de recherche : Laboratoire Rhéologie et Procédés

**Caractérisation du système de transformation, consommation et propriétés rhéologiques de la purée de niébé**

**Characterization of the process of cowpea's puree adowe in Togo, consumption and rheological properties**

Présentée par :

**Ekoué TEKOU**

Direction de thèse :

**Komla AKO**  
MAITRE DE CONFERENCES, Université Grenoble Alpes

Directeur de thèse

Rapporteurs :

**Lazhar BENYAHIA**  
PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université du Mans

**Deniz GUNES**  
FULL PROFESSOR, Université catholique de Louvain

Thèse soutenue publiquement le **31 janvier 2024**, devant le jury composé de :

**Nicolas GONDREXON,**  
PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Grenoble Alpes

Président

**Komla AKO,**  
MAITRE DE CONFERENCES HDR, Université Grenoble Alpes

Directeur de thèse

**Lazhar BENYAHIA,**  
PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université du Mans

Rapporteur

**Deniz GUNES,**  
FULL PROFESSOR, Université catholique de Louvain

Rapporteur



## Dédicaces

*A mon adorable fils Sitou,*

*A tous les enfants du Togo et du monde,*

*A mes défunts parents (In Memoriam),*

*A tous, je dédie ce travail.*

## Remerciements

Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Madame Nadia EL KISSI, Ex-directrice du Laboratoire Rhéologie et Procédés, pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire en tant que doctorant invité il y a un peu plus de 4 ans. Je tiens également à remercier Monsieur Frédéric BOSSARD, l'actuel directeur du laboratoire qui m'a permis de décrocher la demi-bourse ministérielle de Grenoble INP afin que je puisse m'inscrire en thèse à l'ED I-MEP<sup>2</sup> pour que mes travaux de thèse soient également reconnus et soutenus à l'Université Grenoble Alpes. Je les remercie tous les deux, pour l'attention et le soutien qu'ils m'ont porté durant ces années.

J'adresse mes remerciements au gouvernement de la République du Togo pour une partie de financement de ce travail. Toute ma reconnaissance à Monsieur BELEYI Eustache et à tout le personnel de la Direction des Bourses et Stages, au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche du Togo.

Cette thèse a été rendue possible grâce à Monsieur AKO Komla, mon directeur de thèse, qui m'a permis de travailler sur un sujet qui me tient à cœur. Je lui dis un grand merci, pour avoir accepté et accueilli ce travail au sein de son équipe. Je lui suis très reconnaissant pour la confiance qu'il m'a accordée et pour le bienveillant encadrement qu'il m'a apporté. Je le remercie sincèrement pour m'avoir aidé, conseillé, soutenu et encouragé pendant toutes mes années de recherche (du statut de doctorant invité au doctorant I-MEP<sup>2</sup>). Ses qualités humaines et ses compétences scientifiques et techniques ainsi que sa grande expérience ont été pour moi une source d'inspiration et m'ont été d'une grande aide. Merci pour les discussions scientifiques, philosophiques et personnelles. Bref merci de m'avoir formé !

Je suis très reconnaissant à Monsieur Benyahia LAZHAR (Université Le Mans) et à Monsieur Deniz GUNES (Université KU Leuven) d'avoir bien voulu accepter d'être rapporteurs de cette thèse. C'est un privilège de les compter parmi les membres de jury.

Mes sincères sentiments de respect et de reconnaissance s'adressent à Monsieur Nicolas GONDREXON (Université Grenoble Alpes), pour avoir bien voulu accepter d'être le président du jury, prouvant ainsi l'intérêt qu'il porte à ce travail.

Ma profonde gratitude à Monsieur Yousefi ALIREZA (Université de Bonab / Iran) pour sa parfaite collaboration.

Un grand merci à l'ensemble du personnel du Laboratoire Rhéologie et Procédés de Grenoble:

- Monsieur Yahya RHARBI, pour sa sympathie, ses conseils précieux sur le plan de la recherche et pour l'intérêt porté à mon sujet de thèse,

- Madame Louise INFUSO, pour sa gentillesse et son aide généreuse dans mes démarches administratives,
- Monsieur François BERGEROT, pour sa sympathie et son aide dans mes démarches administratives,
- Madame Sylvie GAROFALO, pour sa sympathie, sa bonne humeur et son aide dans mes démarches administratives,
- Monsieur Vincent VERDOOT, pour sa bonne humeur et pour m'avoir formé à l'utilisation des rhéomètres,
- Monsieur Frédéric HUGENELL, pour sa sympathie, son soutien moral, pour m'avoir formé à l'utilisation de: DLS (Dynamic Light Scattering), Granulomètre Mastersizer, Four à moufle, etc.
- Monsieur Mohamed KARROUCH, pour sa sympathie, son soutien moral, pour m'avoir formé à l'utilisation de l'extrudeuse,
- Monsieur Didier BLESES, pour sa sympathie, son soutien moral et son aide en informatique,
- Monsieur François TRUONG, pour ses conseils et son soutien moral,
- Monsieur Nadjib MEDJALDI, pour sa sympathie, sa bonne humeur et son soutien moral,
- Monsieur Éric FAIVRE, pour son amitié, pour m'avoir formé en sécurité et prévention des risques (chimique, biologique...) au laboratoire, pour sa disponibilité, pour sa bienveillance et pour son aide précieuse. Je n'oublie pas ses nombreuses invitations chez lui en famille, (pour : mes anniversaires, les fêtes de nouvel an, les randonnées avec l'AVH Grenoble, les festivals de musique et de conte, les visites touristiques dans la région Auvergne-Rhône-Alpes...),
- Messieurs Albert MAGNIN, Denis ROUX et François CATON, pour l'intérêt porté à mon sujet de thèse et pour leurs conseils précieux,
- Mes ami(e)s et collègues rencontré(e)s au laboratoire : Essa (S.), Adja (T.) (pour son repas convivial de thiéboudiène), Fatou (G.), Olivier (T.) (pour l'intérêt porté à mon sujet de thèse, son amitié et son aide pendant la phase de rédaction), Sarah (A.) (pour m'avoir passé et appris le logiciel GraphPad Prism), Lydia (E.), Emilie (G.), Saïd (E.), Maxime (F.) (pour l'intérêt porté à mon sujet de thèse, son amitié et son aide pendant la phase de rédaction), Diégo (M.), Béatrice (R.) (pour son repas convivial à base de feuilles de Madagascar), Xavier (S.) (pour m'avoir passé et appris l'utilisation du logiciel Image J), Maï (D.) (pour le partage de moment convivial), Khadija (T.), Ana (C.), Midhun (P.), Fanny (B.), Paul (A.), Lorenzo (M.), Annabelle (J.), Nishant (S.), Vivaswan (C.), Dacil (M.), Nissrine (L.), Samuel (M.), Valentin (H.) (pour son amitié et les offres de gaufres de Noël)...pour les très bons moments passés avec vous tous !

Mes sincères remerciements à Madame Véronique JACOB, pour avoir accepté qu'une partie de mes travaux soit réalisée dans son laboratoire de chimie analytique de l'IUT Grenoble.

Toute ma gratitude à Madame Sonia MOLINA-BOISSEAU, pour m'avoir permis de réaliser certaines analyses au sein de son équipe à CERMAV et à l'UFR Chimie et Biologie.

Mes vifs remerciements à Madame Corinne RAVELET, pour m'avoir permis de réaliser certaines analyses au département de Pharmacochimie Moléculaire – UMR 5063.

Un merci particulier à Monsieur Michel REVOL-BOURGEOIS, pour son aide généreuse durant mes nombreuses manip à l'UFR Chimie et Biologie.

Je ne peux écrire ces remerciements sans penser à mes deux stagiaires que j'ai eu. Mademoiselle Samah ETTANGI et Monsieur Narcisse Komlan KOLEGAIN, je vous remercie pour vos engagements et vos précieux travaux.

Je tiens à remercier Monsieur Elolo OSSEYI, pour avoir dirigé une partie de ce travail au Togo à l'Université de Lomé. Je remercie également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail au Togo.

Je profite de cet exercice pour témoigner ma reconnaissance à mon ami et parrain de la Société Française de Nutrition (SFN), Monsieur Yves MOREL, pour son amitié, ses conseils précieux et son aide généreuse.

Un merci beaucoup : à Madame Yayra AKO, à Madame Zahia FAIVRE et respectivement à leurs filles Gina et Alizée, pour leurs accueils chaleureux et leurs générosités. Vous avez été pour moi, des familles d'accueil que je n'ai jamais eu et que je n'oublierai jamais. Je ne vous remercierai jamais assez pour tout.

Enfin, je tiens à remercier profondément mes défunts parents (*In Memoriam*) pour leurs sacrifices et leurs amours éternels qu'ils m'ont toujours témoigné. Je les rends hommage à travers ce travail.

Pour finir, j'adresse de chaleureux remerciements à toute ma famille (LOGOSU-TEKO et AMOUZOU), à mon cher frère Komla (M.) et à tous mes ami(e)s notamment : Yves (K.), James (G.), Nicolas (A.), Séna (A.), Coco (W.), Emile (O.), Emile (K.), Seun (O.), Djami (D.).

**Merci d'exister.**

## Table des matières

Dédicaces.....	I
Remerciements .....	II
Table des matières .....	V
Liste des figures .....	XI
Liste des Tableaux .....	XV
Acronymes et abréviations .....	XVII
Résumé.....	XXI
Abstract .....	XXII
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.....	5
1.1 Généralités sur le niébé.....	6
1.1.1 Origine et dénominations.....	6
1.1.2 Taxonomie et classification .....	7
1.1.3 Caractéristiques agro-morphologiques du niébé et les variétés cultivées au Togo.....	8
1.1.4 Production du niébé dans le monde.....	11
1.1.5 Production du niébé au Togo .....	13
1.2 Intérêts du niébé .....	13
1.2.1 Intérêt économique .....	13
1.2.2 Intérêt agronomique .....	14
1.2.3 Intérêt alimentaire .....	14
1.2.4 Intérêt thérapeutique.....	15
1.3 Composition biochimique des graines de Niébé.....	15
1.3.1 Glucides .....	17
1.3.1.1 Amidon.....	17
1.3.1.2 Fibres alimentaires.....	18
1.3.1.3 Sucres solubles .....	18
1.3.2 Protéines .....	18
1.3.2.1 Composition en acides aminés .....	19
1.3.3 Lipides .....	21
1.3.4 Micronutriments.....	21
1.3.5 Eléments minéraux.....	21
1.3.6 Vitamines .....	22
1.3.7 Facteurs antinutritionnels (FAN) .....	23

1.3.7.1	Acide phytique.....	23
1.3.7.2	Inhibiteurs de protéases.....	24
1.3.7.3	Polyphénols : tanins .....	24
1.3.7.4	Phyto-hémagglutinines ou lectines .....	25
1.3.7.5	Oligosaccharides de flatulence .....	25
1.4	Consommation et mode de préparation .....	26
1.4.1	Consommation des graines de niébé .....	26
1.4.2	Mode de préparation du niébé.....	26
1.5	Technique de dépelliculage traditionnel des légumineuses .....	28
1.5.1	Trempage .....	28
1.5.2	Pilage et broyage .....	29
1.5.3	Rôtissage, grillage, étuvage ou cuisson .....	30
1.6	Autres traitements de réduction des facteurs antinutritionnels .....	32
1.6.1	Germination .....	32
1.6.2	Fermentation .....	33
1.6.3	Mouture .....	33
	Conclusion.....	37
Chapitre 2 : Etude de la production traditionnelle et de la consommation de la purée de niébé « Adowè » au Togo .....		38
	Introduction .....	39
2.1	Méthodologie .....	40
2.1.1	Cadre d'étude.....	40
2.1.1.1	Enquête socio-culturelle et étude de procédés de production de Adowè.....	40
2.1.1.2	Enquête de pénétration de Adowè dans les pratiques culinaires et alimentaires.....	41
2.1.2	Analyses statistiques des données .....	43
2.2	Résultats.....	43
2.2.1	Données socio-culturelles et procédés de production de Adowè.....	43
2.2.1.1	Procédés ancestraux de la production de Adowè .....	43
2.2.1.2	Différentes opérations de production de Adowè ancestral ou traditionnel ....	45
2.2.1.2.1	Triage et épierrage.....	45
2.2.1.2.2	Trempage .....	45
2.2.1.2.3	Dépelliculage .....	45
2.2.1.2.4	Lavage - tamisage.....	48
2.2.1.2.5	Opération de cuisson et d'écumage.....	49
2.2.1.2.6	Opération de mise en purée .....	50



2.2.1.2.7	Opération de maturation .....	50
2.2.1.3	Liste des équipements utilisés dans le process de production.....	51
2.2.2	Pénétration de Adowè dans les pratiques culinaires et alimentaires .....	52
2.2.2.1	Données caractéristiques des enquêtées.....	52
2.2.2.2	Données caractéristiques des partenaires (époux) des enquêtées.....	53
2.2.2.3	Données caractéristiques de la situation économique des enquêtées et leurs partenaires .....	53
2.2.2.4	Données techniques sur l'emploi du niébé.....	56
2.2.2.4.1	Place de la consommation du niébé chez les enquêtées .....	56
2.2.2.4.2	Fréquence de consommation du niébé .....	56
2.2.2.5	Données techniques sur Adowè.....	57
2.2.2.5.1	Aspect général sur la connaissance et la consommation de Adowè .....	57
2.2.2.5.2	Etude de la connaissance et de la consommation de Adowè.....	60
2.2.2.5.3	Etude de différents procédés de production de Adowè .....	60
2.2.3	Etude analytique.....	61
2.2.3.1	Répartition suivant les régions et la connaissance de Adowè .....	61
2.2.3.2	Consommation du niébé et de Adowè selon les tranches d'âge.....	62
2.2.3.3	Consommation du niébé et de Adowè selon les régions.....	63
2.3	Discussion .....	63
2.3.1	Profil socio-culturel, traditionnel et méthode de production de Adowè .....	63
2.3.2	Connaissance et consommation de Adowè dans les habitudes alimentaires des sujets enquêtés.....	64
2.3.2.1	Caractéristiques générales des sujets enquêtés.....	64
2.3.2.2	Degré de connaissance et de consommation de niébé dans les ménages .....	65
2.3.2.3	Degré de connaissance et consommation de Adowè dans les ménages .....	67
	Conclusion.....	70
Chapitre 3 : Caractéristiques rhéologiques des graines de niébé dans leurs états cru et cuit ...		71
	Introduction .....	72
3.1	Matériel et méthodes .....	74
3.1.1	Matériel.....	74
3.1.2	Méthodes.....	74
3.1.2.1	Traitement physique : trempage et chauffage des graines à 95 °C.....	74
3.1.2.2	Test de compression des graines de niébé.....	75
3.1.2.3	Test de gonflement lors de la cuisson des graines de niébé .....	77
3.1.3	Détermination des conditions d'études : Analyses des données bibliographiques et des tests exploratoires .....	77

3.2	Résultats et discussion .....	84
3.2.1	Déformation des graines de niébé en réponse à des forces de compression incrémentielles .....	84
3.2.2	Rapports entre les forces de compression et les déformations selon le temps de chauffage des graines de niébé.....	87
3.2.3	Vitesse de déformation par compression et indice de viscosité des graines de niébé.....	90
3.2.4	Raideur, rigidité et vitesse ou taux de déformation des graines en fonction du temps de chauffage.....	92
3.2.5	Energie d'activation de cuisson.....	93
	Conclusion.....	98
Chapitre 4 : Impacts des pré-traitements de trempage et de dépelliculage des graines de niébé sur quelques qualités technologiques et nutritionnelles de la purée « Adowè ».....		
	Introduction .....	100
4.1	Matériel végétal et Méthodologie .....	101
4.1.1	Différents types d'échantillons .....	101
4.1.2	Préparation des échantillons pour analyse .....	102
4.1.2.1	Procédés de production de la purée de niébé dépelliculé Adowè .....	102
4.1.2.2	Procédés de production des différentes purées de niébé dépelliculé Adowè au laboratoire.....	102
4.1.2.2.1	Trempage - dépelliculage .....	102
4.1.2.2.1.1	Première série de traitement technologique.....	102
4.1.2.2.1.2	Deuxième série de traitement technologique.....	102
4.1.2.2.2	Opération de Cuisson .....	102
4.2	Méthode d'analyse .....	109
4.2.1	Analyses technologiques .....	109
4.2.1.1	Indice de gonflement .....	109
4.2.1.2	Détermination de la teneur en matières sèches .....	109
4.2.2	Analyses chimiques .....	110
4.2.2.1	Détermination de la teneur en cendres (ISO 2171 : 2007).....	110
4.2.2.2	Dosage des éléments minéraux .....	111
4.2.2.2.1	Minéralisation acide par micro-onde et dosage par l'ICP-MS .....	111
4.2.2.3	Dosage d'acide phytique.....	111
4.2.2.4	Dosage des phénols totaux .....	113
4.2.2.5	Dosage des tannins .....	114
4.2.2.6	Détermination de la teneur en protéines .....	116
4.2.2.7	Détermination de la teneur en lipides .....	116

4.2.2.8	Détermination de la teneur en glucides totaux .....	116
4.2.3	Analyses statistiques.....	117
4.3	Résultats et discussion.....	118
4.3.1	Etude de la perte de matière en fonction des temps de trempage et de cuisson.....	118
4.3.1.1	Influence de l'application de la première série de traitement technologique .....	118
4.3.1.2	Influence de l'application de la deuxième série de traitement technologique.....	121
4.3.1.3	Comparaison des pertes de matières après les deux séries de traitements technologiques .....	124
4.3.1.3.1	Perte de matières après trempage des graines dépelliculées et non dépelliculées.....	124
4.3.1.4	Perte de matière due à la cuisson réalisée après trempage des graines dépelliculées et non dépelliculées.....	125
4.3.2	Taux d'absorption d'eau suivant les différents types de trempage .....	127
4.3.3	Influence des différents procédés de production sur le taux de cendres, des minéraux et oligo-éléments.....	129
4.3.3.1	Cas des graines non dépelliculées avant trempage .....	129
4.3.3.2	Cas des graines dépelliculées avant trempage.....	133
4.3.4	Variation du taux de cendres les minéraux et oligo-éléments en fonction du type de niébé et de leurs dérivés .....	135
4.3.5	Influence des différents procédés de production sur les facteurs antinutritionnels.....	138
4.3.5.1	Effet du trempage sur la teneur en facteurs antinutritionnels des graines de niébé non dépelliculées .....	138
4.3.5.2	Effet du trempage sur la teneur en facteurs antinutritionnels des graines de niébé dépelliculées.....	140
4.3.5.3	Effet du procédé de production traditionnelle sur la teneur en facteurs antinutritionnels .....	142
4.3.6	Variation de la teneur en facteurs antinutritionnels entre le niébé brut et ses dérivés.....	143
4.3.7	Influence des différents procédés de production de la purée « Adowè » sur les macronutriments, les éléments minéraux et les facteurs antinutritionnels .....	144
4.3.7.1	Composition nutritionnelle des différents types de niébé et de Adowè .....	144
4.3.7.2	Cercle de corrélation montrant les relations ou corrélations entre les descripteurs ou paramètres mesurés .....	146
4.3.7.3	Carte des groupes ou traitements montrant les différences et les similitudes entre ces traitements.....	147

4.3.7.4	Combinaison de cercle de corrélation et carte des groupes .....	149
	Conclusion.....	151
Chapitre 5 : Etude rhéologique de la purée de niébé dépelliculé « Adowè » et influence de la salive sur sa viscosité.....		
	Introduction .....	153
5.1	Rappels bibliographiques : notions de rhéométrie .....	155
5.1.1	Définition et principe.....	155
5.1.2	Contrainte de cisaillement .....	156
5.1.3	Gradient de cisaillement .....	157
5.1.4	Comportements rhéologiques de différents types de systèmes.....	158
5.1.4.1	Fluides Newtoniens .....	159
5.1.4.2	Fluides non-Newtoniens .....	159
5.1.4.2.1	Seuil d'écoulement.....	160
5.2	Matériels et méthodes.....	161
5.2.1	Graines de niébé.....	161
5.2.2	Salive .....	161
5.2.3	Préparation de la purée de niébé dépelliculé « Adowè ».....	161
5.2.4	Etude de viscosité et de fluage - recouvrance.....	162
5.2.5	Etude granulométrique .....	165
5.2.5.1	Observation microscopique des particules de la purée Adowè.....	165
5.2.5.2	Analyse de la taille des particules par granulométrie .....	166
5.3	Résultats.....	166
5.3.1	Caractéristiques de la purée de niébé .....	166
5.3.2	Propriétés rhéologiques de la purée Adowè : influence de la salive.....	169
5.3.2.1	Viscosité de cisaillement de la purée Adowè extrêmement concentrée .....	169
5.3.2.2	Complaisance au fluage et recouvrance.....	172
5.3.2.3	Influence de la salive sur les différentes concentrations de purée Adowè....	174
5.4	Discussion.....	177
	Conclusion.....	179
Conclusion générale .....		
		180
Perspectives.....		
		184
Références bibliographiques .....		
		186
Annexes .....		
		214
Articles publiés.....		
		219
Communications scientifiques .....		
		221

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Spécimen du niébé <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. : (A) graines de niébé, (B) la fleur, (C) la gousse, (D) les feuilles et (E) la tige.....	9
<b>Figure 2 :</b> (A) Schéma d'une graine de niébé avec représentation de ses dimensions, (B) Schéma d'une graine entière et d'une coupe longitudinale .....	10
<b>Figure 3 :</b> Quelques variétés des graines de niébé.....	11
<b>Figure 4 :</b> Grains d'amidon du niébé observées par MEB "Microscope Electronique à Balayage" .....	17
<b>Figure 5 :</b> Structure moléculaire de l'acide phytique .....	24
<b>Figure 6 :</b> Photos des différentes formes de consommation des graines niébé au Bénin .....	28
<b>Figure 7 :</b> Pilage des graines (a) et broyage des graines (b) .....	30
<b>Figure 8 :</b> Moulin à meules verticales .....	34
<b>Figure 9 :</b> Carte indiquant les localités prospectées .....	41
<b>Figure 10 :</b> Diagramme technologique de la transformation traditionnelle du niébé en purée Adowè.....	44
<b>Figure 11 :</b> Photos montrant l'opération de trempage des graines de niébé.....	45
<b>Figure 12 :</b> Photo montrant les graines de niébé dépelliculées au moulin à meule.....	46
<b>Figure 13 :</b> Photo montrant l'opération de dépelliculage sur une meule à pierre .....	46
<b>Figure 14 :</b> Photos montrant l'opération de dépelliculage à la main .....	47
<b>Figure 15 :</b> Photo montrant les graines de niébé dépelliculées à la main ou à la meule de pierre.....	47
<b>Figure 16 :</b> Photos des pellicules des graines après l'opération de dépelliculage .....	48
<b>Figure 17 :</b> Photos montrant l'opération de lavage après dépelliculage (B) et de tamisage (A) .....	48
<b>Figure 18 :</b> Photos montrant l'opération de cuisson des graines de niébé dépelliculées, ajout du sel de cuisine (A) et du sel gemme ou de la potasse alimentaire (B) .....	49
<b>Figure 19 :</b> Photos montrant l'opération d'écumage à l'ébullition (A) et l'écume (B).....	49
<b>Figure 20 :</b> Photos montrant la fin de l'opération de cuisson des graines (A) et de l'optimisation du ramollissement des graines (B) .....	50
<b>Figure 21 :</b> Photos montrant l'opération de mise en purée des graines cuites .....	50
<b>Figure 22 :</b> Photos montrant l'opération de maturation de la purée .....	51
<b>Figure 23 :</b> Photos montrant le mets « Adowè » prêt à la consommation .....	51

<b>Figure 24</b> : Répartition des sujets en fonction de la fréquence combinée selon la connaissance et la consommation du niébé.....	56
<b>Figure 25</b> : Répartition des sujets en fonction de la fréquence de consommation du niébé ....	57
<b>Figure 26</b> : Représentation des fréquences combinées de la connaissance et de la consommation de Adowè.....	60
<b>Figure 27</b> : Répartition de différents types de dépelliculage des graines de niébé avant préparation de Adowè.....	61
<b>Figure 28</b> : Photos du système expérimental (a) montrant le début du test de compression (b) et la déformation de la graine sous l'effet de la compression (c) .....	75
<b>Figure 29</b> : Programme de détection de la hauteur initiale des graines de niébé, test répété 3 fois (a), Programmes de compression des graines de niébé (b) .....	76
<b>Figure 30</b> : Variation de la déformation d'une graine de niébé chauffée à 95 °C pendant 10 min, sous l'effet d'une force de chargement de 1 N. La figure insérée décrit le profil de la force appliquée .....	80
<b>Figure 31</b> : Variation du domaine de réponse linéaire de la graine de niébé chauffée à 95 °C pendant 10 min, selon les forces de chargement.....	82
<b>Figure 32</b> : Courbes de déformation des graines de niébé chauffée à 95 °C pendant 10 min, en fonction du temps de compression .....	85
<b>Figure 33</b> : Variation de la déformation instantanée ( $\epsilon$ ) des différentes graines de niébé après application des différentes forces de compression. ....	87
<b>Figure 34</b> : (A) Photos d'une graine de niébé natif (niébé cru), puis chauffée pendant (B) 60 min, (C) 90 min à 95°C, et (D) le test du doigt appliqué sur la graine (C).....	88
<b>Figure 35</b> : Courbes de déformation instantanée ( $\epsilon$ ) des graines de niébé en fonction des différents temps de chauffage, pour chaque différente force de compression appliquée .....	89
<b>Figure 36</b> : Courbes de la vitesse de déformation en fonction des forces de compression appliquées, sur le niébé cru (a), sur les graines de niébé chauffées à 95 °C à différents temps (b, c, d), reflétant l'évolution de la viscosité des graines en fonction du temps de chauffage, temps zéro en (e) .....	91
<b>Figure 37</b> : Evolution de l'indice d'élasticité sur l'axe gauche et de la vitesse de déformation sur l'axe droit en fonction du temps de chauffage (a). Absorption d'eau des graines en fonction du temps de chauffage (b).....	92
<b>Figure 38</b> : Evolution du taux de gonflement des graines de niébé en fonction du temps à différentes températures de chauffage .....	95

<b>Figure 39</b> : Variation de la cinétique de gonflement des graines de niébé chauffées à différentes températures.....	96
<b>Figure 40</b> : Photos de la graine de niébé provenant de Madagascar (A), la graine de niébé provenant du Togo (B), la purée de la graine de niébé "Adowè" provenant du Togo (C) .....	101
<b>Figure 41</b> : Procédés d'obtention des différents échantillons issus du niébé non dépelliculé avant trempage de 10 h (Première série de traitement technologique) .....	103
<b>Figure 42</b> : Procédés d'obtention des différents échantillons issus du niébé dépelliculé avant trempage de 10 h (Deuxième série de traitement technologique) .....	105
<b>Figure 43</b> : Procédés d'obtention des différents échantillons du niébé provenant de Madagascar .....	107
<b>Figure 44</b> : Procédés d'obtention des différents échantillons du niébé et de la purée Adowè provenant du Togo.....	108
<b>Figure 45</b> : Variation des pertes de matière dans l'eau de trempage des graines non dépelliculées.....	118
<b>Figure 46</b> : Variation des pertes de matière dans l'eau de cuisson des graines trempées non dépelliculées.....	120
<b>Figure 47</b> : Variation des pertes de matière dans l'eau de trempage et dans l'eau de cuisson des graines non dépelliculées .....	121
<b>Figure 48</b> : Variation des pertes de matière dans l'eau de trempage des graines dépelliculées .....	122
<b>Figure 49</b> : Variation des pertes de matière dans l'eau de cuisson après trempage des graines dépelliculées.....	123
<b>Figure 50</b> : Variation des pertes de matière dans l'eau de trempage et dans l'eau de cuisson des graines dépelliculées.....	124
<b>Figure 51</b> : Variation des pertes de matière liées au trempage entre les graines non dépelliculées et dépelliculées .....	125
<b>Figure 52</b> : Variation des pertes de matière liées à la cuisson suivant les deux séries de traitement .....	126
<b>Figure 53</b> : Variation de l'indice de gonflement des graines non dépelliculées .....	127
<b>Figure 54</b> : Variation de l'indice de gonflement des graines dépelliculées .....	128
<b>Figure 55</b> : Variation de l'indice de gonflement des graines non dépelliculées et dépelliculées après trempage .....	129
<b>Figure 56</b> : Corrélations entre les macronutriments, les éléments minéraux et les facteurs antinutritionnels.....	146

<b>Figure 57</b> : Carte montrant les différences et les similitudes entre les différents types de Adowè et de niébé .....	148
<b>Figure 58</b> : Biplot de superposition, des différents types de niébé et de Adowè, des macronutriments, des éléments minéraux et des facteurs antinutritionnels.....	149
<b>Figure 59</b> : Schémas des géométries, pour l'écoulement plan - plan (a), pour l'écoulement de couette (b) .....	156
<b>Figure 60</b> : Schéma de la déformation laminaire de cisaillement plan (Briant et al., 1985)	157
<b>Figure 61</b> : Comportements rhéologiques des différents fluides : Courbes d'écoulement (a), Courbes de viscosité (b) (Rey, 2017) .....	159
<b>Figure 62</b> : Photo de l'instrument expérimental (a), le test de cisaillement rotationnel (b), le test d'extrusion inverse (c) .....	164
<b>Figure 63</b> : Photos de la purée de niébé traditionnelle Adowè (a), la purée de niébé produite en laboratoire (b), Image microscopique des deux précédentes purées (c) .....	167
<b>Figure 64</b> : Variation de la granulométrie de la purée traditionnelle de niébé et de la purée de niébé concentrée fabriquée en laboratoire (PNC) .....	167
<b>Figure 65</b> : Photos montrant la fluidité de la purée de niébé en fonction des concentrations (31 % et 20 %).....	169
<b>Figure 66</b> : Variation de la viscosité en fonction des contraintes appliquées sur différentes concentrations (12%, 15% et 20%) de purée de niébé Adowè .....	170
<b>Figure 67</b> : Courbes montrant l'application de la méthode d'extrusion inverse sur une purée de niébé de forte concentration à 31 %.....	171
<b>Figure 68</b> : Courbes montrant les réponses des différentes purées de niébé soumises aux tests de fluage - recouvrance.....	172
<b>Figure 69</b> : Courbes de viscosité ( $\eta$ ) des différentes concentrations de purée Adowè, log/lin (a) et log/log (b).....	175
<b>Figure 70</b> : Courbes montrant l'effet de la salive sur les différentes concentrations de la purée de niébé Adowè.....	176



## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Classification systématique du niébé .....	7
Tableau 2 : Production mondiale des graines de niébé en tonnes pour la période 2012 - 2016 .....	12
Tableau 3 : Production du niébé dans le monde, année 2021 .....	13
Tableau 4 : Valeur nutritionnelle comparative du niébé et de quelques variétés de légumineuses .....	16
Tableau 5 : Composition biochimique des graines de niébé .....	16
Tableau 6 : Composition en acides aminés de quelques légumineuses en pourcentage de protéines totales .....	20
Tableau 7 : Composition en acide gras des graines de niébé en pourcentage de lipide .....	21
Tableau 8 : Composition en éléments minéraux de quelques légumineuses (mg/100g MS) ...	22
Tableau 9 : Traitement et utilisations traditionnelles des légumineuses .....	35
Tableau 10 : Traitement et utilisation des légumineuses selon des nouvelles techniques améliorées .....	36
Tableau 11 : Liste des ingrédients et des équipements utilisés au cours de la production de Adowè traditionnel .....	52
Tableau 12 : Répartition des sujets suivant les données sociodémographiques .....	54
Tableau 13 : Répartition des sujets suivant les données sociodémographiques (suite) .....	55
Tableau 14 : Répartition des sujets selon la connaissance et la fréquence de consommation de Adowè .....	58
Tableau 15 : Répartition des sujets selon la connaissance et la fréquence de consommation de Adowè (suite) .....	59
Tableau 16 : Répartition de la connaissance de Adowè en fonction des origines des sujets....	62
Tableau 17 : Répartition de la consommation de niébé et de Adowè en fonction de l'âge des sujets .....	62
Tableau 18 : Répartition de la consommation de niébé et de Adowè en fonction des régions d'origine des sujets.....	63
Tableau 19 : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé brut et des différentes purées issues des graines trempées non dépelliculées .....	130

Tableau 20 : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé brut et des différentes purées issues des graines trempées non dépelliculées (suite) .....	131
Tableau 21 : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé brut et des différentes purées issues des graines trempées dépelliculées .....	133
Tableau 22 : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé brut et des différentes purées issues des graines trempées dépelliculées (suite) .....	134
Tableau 23 : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé (Madagascar) et ses produits dérivés .....	135
Tableau 24 : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé (Togo) et de la purée traditionnelle Adowè .....	137
Tableau 25 : Pertes de facteurs antinutritionnels en fonction de la durée de trempage des graines non dépelliculées avant la production de la purée Adowè .....	138
Tableau 26 : Pertes de facteurs antinutritionnels en fonction de la durée de trempage des graines non dépelliculées avant la production de la purée Adowè (suite).....	139
Tableau 27 : Pertes des facteurs antinutritionnels en fonction de la durée de trempage des graines dépelliculées avant la production de la purée Adowè .....	140
Tableau 28 : Pertes de facteurs antinutritionnels en fonction de la durée de trempage des graines dépelliculées avant la production de la purée Adowè (suite) .....	141
Tableau 29 : Teneur en facteurs antinutritionnels du niébé (Togo) et de la purée traditionnelle Adowè.....	142
Tableau 30 : Teneur en facteurs antinutritionnels du niébé brut (Madagascar) et ses produits dérivés.....	143
Tableau 31 : Teneur en macronutriments des différents types de niébé (Madagascar et Togo), de la purée traditionnelle et des différentes purées de niébé produites en laboratoire (g/100 g MS).....	145
Tableau 32 : Principaux modèles de modélisation des comportements rhéologiques .....	160
Tableau 33 : Paramètres d'ajustement du modèle basé sur la dérivée fractionnaire .....	173
Tableau 34 : Paramètres du modèle de la loi de puissance pour les purées de niébé à différentes concentrations et viscosités apparentes à taux de cisaillement ( $50 \text{ s}^{-1}$ ).....	175

## Acronymes et abréviations

<b>%</b>	Pourcentage
<b>%H</b>	Teneur en eau
<b><math>\dot{\gamma}</math></b>	Gradient ou Taux de cisaillement
<b>°C</b>	Degré Celsius
<b><math>\mu\text{g}</math></b>	Microgramme
<b><math>\mu\text{l}</math></b>	Microlitre
<b><math>\mu\text{m}</math></b>	Micromètre
<b>ACP</b>	Analyse en Composantes Principales
<b>AFNOR</b>	Association Française de Normalisation
<b>AND</b>	Adowè de Niébé Dépelliculé après trempage
<b>ANND</b>	Adowè de niébé dépelliculé après trempage du Niébé Non Dépelliculé
<b>ANOVA</b>	Analyse de la Variance
<b>AT</b>	Adowè du Togo
<b>DO</b>	Densité Optique
<b>DSID</b>	Direction des Statistiques agricoles, de l'Information et de la Documentation
<b>DSRP</b>	Document de Stratégie pour la Réduction de la Pauvreté
<b>E</b>	Module de Young
<b>E/NE</b>	Rapport entre acides aminés Essentiel et Non Essentiel
<b>E<sub>a</sub></b>	Energie d'activation
<b>ENM</b>	Pellicules ou Enveloppe de Niébé d'origine Malgache
<b>F</b>	Force axiale de compression
<b>FAN</b>	Facteur Antinutritionnel
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)
<b>g</b>	Gramme
<b>h</b>	Heure
<b>HCl</b>	Acide Chlorhydrique
<b>HU</b>	Hemoglobin Unit (Unité d'Hémoglobine)
<b>ICFI</b>	International Committee of the Fourth International (Comité International de la Quatrième Internationale « CIQI »)

<b>ICP-MS</b>	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (Spectrométrie de Masse à Plasma à Couplage Inductif)
<b>IDDSI</b>	International Dysphagia Diet Standardization Initiative (Initiative Internationale de Normalisation des Régimes Alimentaires pour la Dysphagie)
<b>IG</b>	Indice de gonflement
<b>IP4</b>	Inositol Tetrphosphate
<b>IP5</b>	Inositol Pentaphosphate
<b>IP6</b>	Inositol Hexaphosphate
<b>ISO</b>	International Standardization Organization (Organisation Internationale de Normalisation)
<b>ITRA</b>	Institut Togolais de Recherche Agronomique
<b>K</b>	Kelvin (degré)
<b>K<sub>0</sub></b>	Vitesse de gonflement
<b>kDa</b>	Kilodalton
<b>K<sub>e</sub></b>	Indice d'élasticité
<b>kg</b>	Kilogramme
<b>kJ/mol</b>	Kilojoule par mole
<b>KOH</b>	Hydroxyde de potassium
<b>K<sub>v</sub></b>	Indice de viscosité
<b>l</b>	Litre
<b>LVR</b>	Linear Viscoelastic Region (Zone Linéaire Viscoélastique)
<b>MARS</b>	Modular Advanced Rheometer System
<b>MEB</b>	Microscope Electronique à Balayage
<b>mg</b>	Milligramme
<b>min</b>	Minute
<b>ml</b>	Millilitre
<b>mN</b>	Millinewton
<b>MPDAT</b>	Ministère de la Planification, du Développement et de l'Aménagement du Territoire
<b>MS</b>	Matières Sèches
<b>MST</b>	Ministère de la Santé du Togo
<b>N</b>	Newton
<b>η</b>	Viscosité
<b>NaHCO<sub>3</sub></b>	Bicarbonate de sodium
<b>NaOH</b>	Hydroxyde de sodium

<b>NDD</b>	National Dysphagia Diet (Régime Alimentaire National pour la Dysphagie)
<b>NIOTO</b>	Nouvelle Industrie des Oléagineux du Togo
<b>NLVR</b>	Non-Linear Viscoelastic Region (Zone Non-Linéaire Viscoélastique)
<b>NM</b>	Niébé du Madagascar
<b>nm</b>	Nanomètre
<b>nN</b>	Nanonewton
<b>NT</b>	Niébé du Togo
<b><math>\omega</math></b>	Vitesse ou taux de déformation
<b>OCDE</b>	Organisation de Coopération et de Développement Economique
<b>ODD</b>	Objectifs de Développement Durable
<b>OMD</b>	Objectifs du Millénaire pour le Développement
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>Pa</b>	Pascal
<b>Pa.s</b>	Pascal seconde
<b>pH</b>	Potentiel hydrogène
<b>PNAN</b>	Politique Nationale d'Alimentation et de Nutrition
<b>PNC</b>	Purée de Niébé Concentrée
<b>PNDS</b>	Plan National de Développement Sanitaire
<b>PNIASA</b>	Programme National d'Investissement Agricole et de Sécurité Alimentaire
<b>PSNAN</b>	Plan Stratégique National d'Alimentation et de Nutrition
<b>Qt</b>	Taux de gonflement
<b><math>q_w</math></b>	Cinétique d'absorption d'eau (Pente de gonflement)
<b>R</b>	Constante des gaz parfaits
<b>rpm</b>	Rotation par minute
<b>RR<sub>t</sub></b>	Relative Recovery at time "t"
<b>S</b>	Surface
<b>s</b>	Seconde
<b>SOSC</b>	Simulation of Oral Shear Condition
<b>t</b>	Temps
<b>t<sub>c</sub></b>	Temps caractéristique
<b>UNFPA</b>	United Nations Fund for Population Activities (Fonds des Nations unies pour la population)
<b>UNICEF</b>	United Nations International Children's Emergency Fund (Fonds des Nations unies pour l'enfance)

<b>V/V</b>	Volume par Volume
<b>WHO</b>	World Health Organization (Organisation Mondiale de la Santé)
<b><math>\alpha</math> et <math>\beta</math></b>	Facteur structurel dépendant du temps
<b><math>\sigma</math></b>	Contraint de cisaillement
<b><math>\epsilon</math></b>	Déformation instantanée
<b><math>\epsilon_0</math></b>	Déformation en condition initiale
<b><math>\epsilon_t</math></b>	Déformation à temps « t »

## Résumé

La malnutrition est une menace importante pour la santé humaine. Au Togo, la purée de niébé appelée localement « Adowè » et potentiellement riche en nutriments peut servir à lutter contre la malnutrition déficitaire. Cependant, force est de constater que la sphère de production et de consommation de cette purée ne cesse de se réduire au fil des ans. Les présents travaux de thèse sur « Adowè » ont donc pour objectifs : (i) de contribuer à la lutte contre la carence nutritionnelle protéino-calorique par l'exploitation des agroressources endogènes comme le niébé (protéines végétales), (ii) de préserver l'environnement face à un rythme croissant de la consommation des protéines animales dans le monde. De ce fait, la valorisation et la réhabilitation de « Adowè » nous ont conduit à l'étude de sa production à l'échelle industrielle. La compression mécanique des graines de niébé pour déterminer leurs états cuits et les propriétés rhéologiques de la purée « Adowè » ont également été examinées dans cette thèse. Les résultats obtenus ont montré que l'état cuit des graines peut être évalué par des grandeurs physiques. L'énergie d'activation de cuisson des graines a également été déterminée. Ainsi, ces paramètres permettront de contrôler énergétiquement le procédé de cuisson des graines. La caractérisation rhéologique de la purée a montré un fluide à seuil pour les purées dont la concentration massique se situe entre 12 et 20%. Au-delà de 20% de concentration, la méthode de mesure de la viscosité par rotation pour la caractérisation rhéologique de « Adowè » n'est pas applicable. De ce fait, la méthode d'extrusion inverse a été exploitée pour quantifier la viscosité de « Adowè » à  $31 \pm 2$  % (masse/masse). Ces résultats sont très intéressants et pourront être utiles pour un passage de la production artisanale à une production industrielle de « Adowè ».

**Mots clés : Enquête alimentaire, Diagramme de production, Propriétés rhéologiques.**

## **Abstract**

Malnutrition is a significant threat to human health. In Togo, cowpea puree, known locally as "Adowè", is potentially rich in nutrients and can be used to fight against malnutrition. However, this puree has seen reduced production and consumption over time. The aim of this thesis is to contribute to the fight against protein-calorie malnutrition through the use of endogenous agricultural resources, such as cowpea seeds (plant proteins). In a world where animal proteins consumption is on the rise, this work also helps to contribute towards environmental preservation. Therefore, promoting the development and rehabilitation of "Adowè" requires us to study its production on an industrial scale. Experiments were carried out to determine the cooked state of the cowpea seeds by mechanical compression. The rheological properties of the "Adowè" puree were also determined. The results obtained show that the cooked state of the seeds could be assessed by physical quantities. The activation energy for the cooking of the seeds has also been determined. These parameters will therefore be the basis for the energetic control of the seed cooking process. Finally, the rheological characterisation of the puree was carried out using two methods. For purees with mass concentrations between 12 and 20%, "Adowè" is a yield stress fluid. Beyond 20% concentration, oscillatory and steady shear viscosity measurements of the puree become intractable. Therefore, back extrusion method was used to quantify the viscosity of the puree at  $31\pm 2\%$  (mass/mass). These results are useful for transitioning from artisanal to industrial production of "Adowè".

**Key words: Food consumption survey, Manufacturing diagram, Rheological properties.**



# **Introduction générale**

La malnutrition (état nutritionnel déficitaire) est une menace importante pour la santé humaine. La malnutrition maternelle, l'alimentation complémentaire et l'allaitement inadéquats représentent des risques énormes pour la santé et le développement des enfants. Les recommandations internationales (WHO, 1998, 1999, 2000, 2001 ; WHO/UNICEF, 2003), qu'ont fait siennes les autorités du Togo, préconisent que tous les enfants soient allaités exclusivement au sein jusqu'à l'âge de 6 mois. L'allaitement devrait se poursuivre jusqu'à 2 ans ou plus avec des aliments de complément. En effet, les besoins nutritionnels des jeunes enfants en pleine croissance ne sont plus couverts par l'allaitement maternel exclusif après 6 mois d'âge. Dès lors, la croissance d'un grand nombre de nourrissons des pays en développement s'écarte du modèle de croissance de référence à cause des infections et des pratiques alimentaires inappropriées (WHO, 1998 ; UNICEF, 1998, 2013). La malnutrition se manifeste donc principalement pendant la période d'alimentation complémentaire, entre 6 et 24 mois. Pendant cette période le jeune enfant commence une alimentation diversifiée semi-solide, puis solide-mou. Cependant, ces aliments de complément sont souvent inadéquats sur les plans nutritionnel et hygiénique (UNICEF, 2013).

En 2011, le taux de prévalence de l'insuffisance pondérale chez les enfants de moins de 5 ans (101 millions de cas dans le monde), était plus élevé en Asie du Sud (33 %), suivie de l'Afrique subsaharienne (21 %). Concernant le retard de croissance, l'Afrique subsaharienne enregistre 40 % devant l'Asie du Sud (39 %). L'Afrique subsaharienne et l'Asie du Sud concentrent les trois quarts des enfants souffrant de retard de croissance (malnutrition chronique) soit environ 124 millions et près d'un enfant de moins de 5 ans sur dix souffre d'émaciation (malnutrition aigüe) en Afrique subsaharienne (UNICEF, 2013).

Au Togo, l'état nutritionnel des enfants de moins de 5 ans montre que le taux de malnutrition chronique a atteint 28 % (varie de 15 % dans l'agglomération de Lomé à un maximum de 34 % dans la région des Savanes) par rapport à la norme de 20 % fixée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Par ailleurs, 16 % de ces enfants de moins de 5 ans d'âge présentent une insuffisance pondérale et 7 % souffrent de malnutrition aigüe (MPDAT/MST/ICFI, 2015). Cette prévalence est beaucoup plus élevée dans certaines régions au sein des groupes vulnérables que sont, les femmes enceintes, les femmes en phase d'allaitement et les jeunes enfants en particulier (MPDAT/MST/ICFI, 2015 ; UNICEF, 2017).

Les conséquences de la malnutrition (morbidité et mortalité), en particulier chez les jeunes enfants sont importantes. Elles sont très souvent dues aux insuffisances des micronutriments tels que la vitamine A, l'iode, le fer et le zinc et des macronutriments tels que les glucides, les

protéines et les lipides. Ces conséquences sont directement ou indirectement à l'origine de 60 % des 10,9 millions de décès annuels des enfants de moins de cinq ans.

Selon l'OMS, plus des deux tiers de ces décès, souvent associés à des pratiques d'alimentation inappropriées, surviennent dans la première année de vie (WHO/UNICEF, 2003).

En juin 2010, les autorités du Togo ont adopté une Politique Nationale d'Alimentation et de Nutrition (PNAN) stipulant qu'à partir de six mois, l'allaitement seul ne suffit plus et le nourrisson doit progressivement recevoir des aliments de complément. Ces aliments doivent être appropriés, suffisamment riches et denses en énergie et en micronutriments pour satisfaire les besoins du nourrisson. Ils doivent être préparés dans des conditions hygiéniques et présentés à l'enfant de façon appropriée à son âge (nourriture semi-liquide, écrasée, molle, etc.). Cette politique vise à réduire la malnutrition sur toutes ses formes en particulier chez les enfants et les femmes afin de promouvoir une nutrition optimale au Togo.

Dans le cadre de la lutte contre les carences en micronutriments, le Togo a commencé depuis décembre 2009, le processus de « Fortification » des aliments en vitamines et minéraux avec deux sociétés (Huileries "NIOTO" et Société Générale des Moulins du Togo) qui alimentent le marché local en huile et en farine de blé fortifiée. Cette politique de fortification est limitée dans ses résultats dans la mesure où les aliments de complément proposés aux jeunes enfants, sont généralement de la bouillie à base de farine d'une céréale locale ou de mélange de céréales locales non fortifiées. De surcroît, ces bouillies ont une densité énergétique faible d'environ 40 kcal/100g (Trèche, 2002). Des nourrissons et des jeunes enfants doivent avoir pourtant à disposition, des aliments de complément ayant des caractéristiques nutritionnelles, bactériologiques et organoleptiques adéquates, culturellement et économiquement acceptables. C'est à travers cette politique nutritionnelle que les pays en développement verront la situation s'améliorer (Dewey, 2000 ; Trèche, 2002 ; WHO/UNICEF, 2003 ; Lutter, 2003 ; Lutter et Dewey, 2003 ; Dewey et Brown, 2003).

Toutefois, la diversité des plantes alimentaires entre autres les légumineuses dont regorgent l'Afrique constituent une solution (Chauvet, 2003 ; OCDE, 2005). Les travaux de Padulosi et Hoeschle-Zeledon (2004) ont montré en effet, qu'une grande partie de cette ressource est sous exploitée. Selon Batawila *et al.* (2005) ; Akpavi (2006) ; Akpagana (2006) et Akpavi *et al.* (2008), bon nombre de plantes alimentaires au Togo sont progressivement délaissées en l'absence d'études nutritives. Ces agroressources utilisées dans l'alimentation humaine sont ainsi menacées de disparition (Padulosi, 2006). La résolution des carences alimentaires et nutritionnelles passe pourtant par l'exploitation des plantes alimentaires avec discernement

pour servir de ressources indispensables à l'industrie agroalimentaire (Bilabina, 1991 ; Amouzou *et al.*, 2006).

C'est dans l'optique d'une alimentation variée et de la lutte contre la malnutrition par la valorisation d'un produit alimentaire local que s'inscrit ce projet de réhabilitation de « Adowè », un mets ancestral du Sud-Est du Togo. C'est une purée à base des graines de niébé, apparemment bien adaptée aux jeunes enfants comme alimentation de complément, gustative et potentiellement riche en protéines, glucides, vitamines et sels minéraux, qui est en voie de disparition probablement due aux contraintes de production.

L'objectif principal de cette étude est (a) de contribuer à la lutte contre la carence nutritionnelle protéino-calorique par l'exploitation des agroressources endogènes comme le niébé (protéines végétales), (b) de préserver l'environnement face à un rythme croissant de la consommation des protéines animales dans le monde. De façon spécifique, il s'agit de, (i) évaluer à travers une enquête socioculturelle et économique la connaissance et la consommation de la purée de niébé au sein de la population ; (ii) étudier le procédé de production afin de déterminer l'optimisation pour réduire la pénibilité et accroître la biodisponibilité des nutriments ; (iii) caractériser mécaniquement et d'une manière objective l'état cuit des graines de niébé en vue d'une adaptation industrielle future ; (iv) élaborer différentes concentrations de purée « Adowè » à travers un nouveau procédé de production ; (v) étudier l'influence de la salive sur la viscosité des différentes concentrations de la purée « Adowè ».

Compte tenu de l'approche multidisciplinaire de notre étude, qui joint étude socioculturelle et sciences dures, le présent document de thèse, en dehors de l'introduction générale et de la conclusion générale et perspectives, s'articule autour de 5 chapitres indépendants dont le premier constitue une synthèse bibliographique consacrée à quelques généralités sur le niébé. Les quatre autres chapitres constituent chacun une présentation des différentes études effectuées dont respectivement, chapitre 2 « Etude de la préparation traditionnelle et de la consommation de la purée de niébé (Adowè) au Togo » ; chapitre 3 « Caractéristique rhéologique des graines de niébé dans leurs états cru et cuit » ; chapitre 4 « Influence des prétraitements de trempage et de dépelliculage des graines de niébé sur quelques qualités technologiques et nutritionnelles de la purée « Adowè » et chapitre 5 « Etude rhéologique de la purée de niébé dépelliculée (Adowè) et influence de la salive sur sa viscosité ».

# **Chapitre 1 : Synthèse bibliographique**

## 1.1 Généralités sur le niébé

### 1.1.1 Origine et dénominations

L'origine précise du niébé a de nombreuses années fait l'objet de discussions et de spéculations avant d'être attribuée à l'Asie et à l'Afrique. Ces deux continents représentent deux centres d'origine indépendants de la culture du niébé compte tenu des divergences morphologiques et autres. Cependant, l'absence de niébé sauvage en Asie en tant que progéniteurs possibles a conduit certains à se demander si le centre d'origine asiatique est valide. Toutes les preuves actuelles suggèrent que le niébé est originaire d'Afrique australe, même s'il convient de noter qu'il est difficile de déterminer où sur le continent la culture a été domestiquée pour la première fois (Padulosi et Ng, 1997 ; Timko et Singh, 2008). Le niébé sauvage, *Vigna unguiculata* ssp. *unguiculata* var. *spontanea*, est considérée comme l'ancêtre probable du niébé cultivé actuellement (Pasquet et Baudoin, 1997 ; Pasquet, 1999). Ainsi la sélection humaine des graines à partir de variantes naturelles du niébé sauvage a probablement conduit à divers cultigrupes et à leur domestication en Asie et en Afrique (Steele 1976 ; Lush et Evans, 1981 ; Ng et Padulosi, 1988 ; Ng, 1995 ; Ba *et al.*, 2004). Baudoin et Maréchal (1985) ont proposé que l'Afrique orientale et australe soit la principale région de diversité, et l'Afrique occidentale et centrale, la région secondaire et l'Asie comme troisième pôle de diversité. Les auteurs comme Singh (2005), Timko *et al.* (2007) ont rapporté que le niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp est l'une des légumineuses alimentaires et fourragères les plus importantes dans les tropiques semi-arides des parties de l'Asie, l'Afrique, l'Europe du sud, Le sud des Etats-Unis, l'Amérique centrale et du Sud.

Les graines sèches, *Vigna unguiculata* sont généralement connues sous diverses appellations à travers le monde. Ainsi aux Etats-Unis d'Amérique, elles sont connues sous les noms : « blackeye pea, blackeye bean ou southern pea » ; en Inde, on les appelle « lobia » ; au Brésil, « caupi » ; au Nigeria, au Sénégal et au Soudan, on les appelle respectivement « wake », « niao, seub » et « luba hilu » ; le « niébé » est le nom utilisé en Afrique francophone (Timko et Singh, 2008) et au Bénin, en langue fon, on l'appelle « ayikou ». Au Togo, elles sont appelées « kasaké » en langue kabyè (Périsse et O'cloo, 1962) ou « sona » et en langue mina ou guin « ayii ». Dans la littérature, le nom « cowpea » est le plus utilisé pour désigner le *Vigna unguiculata* (Timko et Singh, 2008).

### 1.1.2 Taxonomie et classification

Le niébé (*Vigna unguiculata*) est une dicotylédone qui appartient à l'ordre des Fabales, familles des Fabaceae, tribu des Phaseoleae, au genre de *Vigna* et à la section Catiang (Verdcourt, 1970 ; Maréchal *et al.*, 1978 ; Brunel *et al.*, 1984).

Le niébé est divisé en dix sous-espèces pérennes et une sous-espèce annuelle, subsp. *Unguiculata*. Cette dernière comprend les formes cultivées du niébé (var. *Unguiculata*) et la forme sauvage annuelle (var. *Spontanea*) (Pasquet, 1993a, 1993b, 1997). La sous espèce cultivée *Unguiculata* a été divisée en cinq cultigrupes (cv. Gr.) nommés : *Unguiculata*, *Biflora*, *Melanphthalmus*, *Sesquipedalis* et *Textilis* (Pasquet, 1998). Ainsi la classification du niébé est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Classification systématique du niébé

Règne	Végétal
Embranchement	Phanérogames
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Super Ordre	Leguminoaseae
Ordre	Fabales
Famille	Fabacea
Sous famille	Faboideae
Genre	<i>Vigna</i>
Tribu	Phaseoleae.
Sous tribu	Phaseolinae
Espèce	<i>Vigna unguiculata</i>

Sources : Verdcourt (1970) ; Marechal *et al.* (1978) ; Brunel *et al.* (1984)

### 1.1.3 Caractéristiques agro-morphologiques du niébé et les variétés cultivées au Togo

Le niébé (*Vigna unguiculata*) est une plante annuelle, herbacée, autogame et à port variable. Sa tige est érigée, volubile, rampante, à croissance déterminée ou indéterminée et peut atteindre 60 cm de hauteur (Borget, 1989). Les caractères morphologiques sont facilement à identifier et dépendent de plusieurs gènes fortement influencés par le milieu (Ghalmi, 2011). La diversité génétique est évaluée par la variation des traits phénotypiques (couleur et forme de la graine, couleur de fleur) ou des traits agronomiques quantitatifs comme le rendement, la longueur de la graine etc. (Kameswara, 2004). Ces traits agronomiques et morphologiques sont nécessaires et déterminants dans les études de la diversité génétique des variétés locales de niébé réalisées au Togo (Dagnon *et al.*, 2017), au Tchad (Nadjiam *et al.*, 2015), en Algérie (Ghalmi *et al.*, 2009), au Ghana (Cobbinah *et al.*, 2011), au Bénin (Gbaguidi *et al.*, 2015).

Le système racinaire est constitué d'une racine pivotante qui initie de nombreuses racines secondaires latérales et portent des bactéries fixatrices d'azote. Les racines portent des nodosités caractéristiques des légumineuses (Haro *et al.*, 2015). Les feuilles sont épigées et alternées sauf les deux premières qui sont en opposées. Les feuilles ayant une croissance indéterminée ou pseudo déterminée dans certains cas, sont de maturité précoce et d'une inflorescence axillaire (Fery, 1985). La tige est anguleuse ou presque cylindrique, légèrement striée et creuse quelque fois, pouvant atteindre quatre mètres de long. Chaque nœud de la tige porte deux stipules prolongées sous l'insertion et trois bourgeons axillaires, capables de donner une tige latérale ou une inflorescence (Fery, 1985). Les fleurs sont de couleur blanchâtre teintée de rose avec un onglet jaune à la base de l'étendard (Kpatinvoh *et al.*, 2016). La date de floraison où de maturité est un aspect adaptatif important dans la culture annuelle chez le niébé car elle détermine la période de récolte (Roberts *et al.*, 1993). Les fruits sont des gousses dressées par paires formant une lettre « V », déhiscentes, cylindriques, plus ou moins comprimées avec une extrémité aiguë (Borget, 1989). La distinction entre les formes cultivées et les formes sauvages s'observe par des graines non dormantes, par des gousses non déhiscentes, par des gousses et des graines de taille plus importante chez les formes cultivées (Lush et Evans, 1981). Les caractéristiques des graines et des gousses très diversifiées chez les formes cultivées (Pasquet et Baudoin, 1997), permettent de décrire les cultivars et d'identifier les cultigrupes (Piper, 1912). La nature du tégument constitue également une caractéristique importante de la graine. En effet, il existe deux types de tégument : l'un épais, lisse et plus ou moins brillant et l'autre mince, ridé et mat. Il y a au moins deux gènes qui déterminent ces deux types de téguments (pellicules) et le phénotype à tégument lisse est le dominant (Ferry, 1985). Les graines de niébé

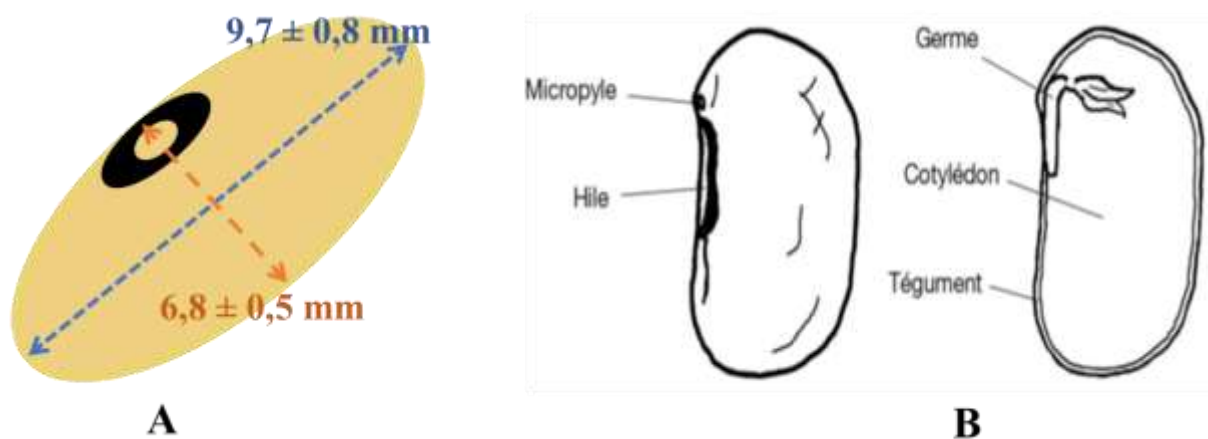


ont une taille qui varie de 5 à 12 mm de longueur et de 4 à 6 mm de largeur. Leur forme peut être réniforme, rhomboïde ou ovulaire (Raemakers, 2001) et les graines lisses, ou ridées sont de couleur marron olive, marron ocre, rouge, noire, blanche. La distribution de la coloration est jaspée ou uniforme, avec ou sans anneau noir entourant le hile. Le poids de 100 grains varie de 5 à 30 g (Duke, 1981 ; Raemakers, 2001). Les figures 1 et 2, illustrent respectivement quelques différentes parties de la plante du niébé et de la graine.



**Figure 1:** Spécimen du niébé *Vigna unguiculata* (L.) Walp. : (A) graines de niébé, (B) la fleur, (C) la gousse, (D) les feuilles et (E) la tige

Source : Riley (2010)



**Figure 2 :** (A) Schéma d'une graine de niébé avec représentation de ses dimensions, (B) Schéma d'une graine entière et d'une coupe longitudinale

Source (schéma B): Cruz *et al.* (2019)

Au Togo, beaucoup de cultivars existent dans les milieux paysans sous diverses appellations dans diverses langues. Parfois dans la même langue, un cultivar peut exister sous plusieurs appellations. Les travaux de caractérisation n'étant pas assez poussés, il est difficile de citer les variétés locales du pays. Cependant les travaux de Dagnon *et al.* (2017) ont permis d'identifier des variétés locales à savoir : Siéloune, Amélassiwa, Kétchéyi, Kétchéyi soukpèlo et Ayidjin, qui présentent des traits intéressants pour les programmes d'amélioration variétale. Dagnon *et al.* (2017) ont également travaillé sur 70 cultivars et ont montré que le coefficient de variation pour le nombre de graines par gousse renseigne sur la grande variabilité entre les cultivars de la collection du Togo, et que ce coefficient est très élevé (59,42 %) d'où le poids de 100 graines observé très variable allant de 11,67 g à 30 g avec une moyenne de 17,98 g.

Il existe entre autres également, des variétés d'élite comme : VITOCO ; VITA5 ; IT87-D-10-10 ; 58-146 ; IT98K-589-2 qui résistent au déficit hydrique et à l'adventice parasite *Striga Gesnerioides* (Willd.) Vatke (Kondi *et al.*, 2018). La figure 3, montre quelques variétés de niébé cultivées au Niger qui ont les mêmes aspects que celles du Togo.



**Figure 3** : Quelques variétés des graines de niébé

Source : Baoua *et al.* (2013)

#### 1.1.4 Production du niébé dans le monde

La production mondiale des graines sèches de niébé à partir de 2012 est estimée en moyenne à 6,7 millions de tonnes tous les ans (Tableau 2) contre une production d'environ 8,9 millions de tonnes évaluées en 2021 (Tableau 3). Une grande proportion de cette production est apportée par l'Afrique environ 95% avec plus de 80 % provenant de l'Afrique de l'Ouest. Le Nigéria premier producteur mondial, fournit 54% de l'approvisionnement mondial et le Niger, deuxième producteur mondial en fournit 23% suivi du Burkina Faso, du Myanmar, du Cameroun et du Mali (Badiane *et al.*, 2014 ; Simon *et al.*, 2007). Dans le monde, la part du niébé dans la superficie totale de légumes secs a augmenté pour passer de moins de 10 % en 1990 à près de 25 % en 2012 et constitue l'une des plus importantes légumineuses à graines cultivées en Afrique subsaharienne (Timko et Singh, 2008). Selon FAO, la production mondiale du niébé en 2021 est estimée à 8,9 millions de tonnes sur une surface de 14,9 millions d'hectares. En Afrique de l'Ouest, le niébé représente 85 % de la superficie de légumes secs et 10 % des terres cultivées au totale (Alene *et al.*, 2012 ; Sanginga et Bergvinson, 2015).

Les rendements moyens en Afrique varient entre 50 et 980 kg par hectare en fonction des variétés utilisées, des conditions climatiques, du système de culture et du degré d'utilisations des engrais et des pesticides (Cissé et Hall, 2003).

**Tableau 2** : Production mondiale des graines de niébé en tonnes pour la période 2012 - 2016

<b>Régions</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Afrique	8 054 899	8 030 197	5 357 312	5 552 211	6 739 689
Afrique de l'Est	510 357	474 479	490 131	471 779	465 687
Afrique Centrale	213 131	233 444	244 766	253 993	262 272
Afrique du Nord	39 000	79 000	101 100	54 148	172 162
Afrique Australe	5 700	5 710	5 705	5 679	5 664
Afrique de l'Ouest	7 286 711	7 237 564	4 515 611	4 766 612	5 833 904
Amérique	93 403	79 231	69 849	75 358	80 458
Asie	185 805	147 121	146 698	147 146	142 695
Europe	23 833	25 099	25 652	25 389	28 332
Monde	8 357 941	8 281 648	5 599 511	5 800 105	6 991 174

Source : Owade (2020)

**Tableau 3** : Production du niébé dans le monde, année 2021

<b>Régions</b>	<b>Production (Tonnes)</b>	<b>Pourcentage par rapport à la production mondiale (%)</b>
Afrique	8 703 522,79	96,9
Asie	190 925,5	2,1
Amérique	67 917,74	0,8
Europe	23 825,22	0,3
Total	8 986 191,25	100

Source : FAO (2021)

### **1.1.5 Production du niébé au Togo**

La production du niébé au Togo en 2017, est d'environ 168.000 tonnes soit un rendement de 460,4 kg/ha par an et est répartie sur une superficie de 363,936 ha (Dagnon *et al.*, 2017). Cette production se fait dans les cinq régions économiques avec un taux de 45% de la production nationale dans la région des savanes (Gumedzoe *et al.*, 1990) et ne cesse d'augmenter ainsi que la surface de production . Ainsi entre 2020 et 2021 la production est estimée à 383 664 tonnes (DSID, 2021). La culture du niébé au Togo regorge d'une grande variété cependant très peu d'études ont été faites sur les légumineuses. Selon Akpavi *et al.* (2013), parmi les 137 espèces alimentaires signalées en voie de disparition, on note également le niébé.

## **1.2 Intérêts du niébé**

### **1.2.1 Intérêt économique**

Le niébé fournit en Afrique une source importante de revenue pour des familles rurales et est par conséquent considéré comme une culture de rente (Quin, 1997). En Afrique de l'Ouest des investissements dans la recherche et la vulgarisation portant sur le niébé durant une période de 20 ans à compter de l'an 2000 se situe dans une fourchette de 300 millions à 1 milliards de dollars américains, avec un taux de rendement interne variant de 50 à 103 % (Kristjanson *et al.*, 2001 ; Tarawali *et al.*, 2005).

### **1.2.2 Intérêt agronomique**

Le niébé a la capacité de résister à des conditions difficiles comme la chaleur et la sécheresse (Hall *et al.*, 2002). Il est donc incontournable dans les stratégies de gestion durable des terres semi-arides dans les systèmes agricoles pluviaux (Haro *et al.*, 2015 ; Dabre *et al.*, 2016). Le niébé a la capacité de fixer l'azote de l'atmosphère, un hectare de niébé peut apporter au sol environ 40 à 80 kg d'azote (Quin, 1997). Par cette capacité de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, le niébé s'insère dans la rotation des cultures et permet de combler les besoins en engrais azoté des cultures subséquentes (Bationo *et al.*, 1990).

Selon Cissé et Hall (2003), l'intérêt du niébé réside dans son adaptation à la sécheresse, sa tolérance aux hautes températures durant la période de végétation, son adaptation à un large pH (4,5 à 9) et sa croissance végétative rapide. Il constitue ainsi un élément clé dans les stratégies de gestion durable des terres dans les zones semi-arides.

Au Togo, plusieurs projets de développement basés sur la vulgarisation et des variétés améliorées, ont été initiés par l'ITRA (Institut Togolais de Recherche Agronomique). Plusieurs cultivars ont été domestiqués à Sotouboua au Centre Nord du Togo (Soulé, 2002).

### **1.2.3 Intérêt alimentaire**

Le niébé fait partie des cultures à graines les plus importantes dans les régions semi-arides d'Afrique, d'Asie, du sud de l'Europe et des États-Unis, de l'Amérique centrale et du sud (Singh, 2005 ; Timko *et al.*, 2007 ; Diouf, 2011). Il procure les éléments nutritifs déficients dans les céréales en jouant un rôle essentiel dans la subsistance des populations pauvres. Il a un usage multiple comme légume vert (feuilles et gousses), graines sèches et fourrage pour le bétail. Les graines sèches du niébé fournissent environ 25 à 30 % de protéines, plaçant le niébé dans un rôle clé de l'alimentation des populations à faibles revenus qui ne peuvent pas toujours s'approvisionner en protéines animales (Pasquet et Baudoin, 1997 ; Kondi *et al.*, 2018).

Le foin du niébé est une source importante de fourrage pour le bétail et joue un rôle particulièrement important dans l'alimentation des animaux (Anoun et Echikh, 1990 ; Chaabena, 1991 ; Emechebe *et al.*, 1997 ; Tarawali *et al.*, 1997).

### **1.2.4 Intérêt thérapeutique**

Dans certaines régions de l'Algérie, certaines variétés de niébé sont utilisées pour leurs vertus thérapeutiques (Ghalmi *et al.*, 2004). Le niébé pourrait être utilisé contre les troubles de mémoire (Berhaut, 1976) et d'autres études ont associé la consommation régulière de légumineuses à divers bienfaits comme la prévention et le contrôle du diabète (Venn et Mann, 2004) ; la prévention des maladies cardiovasculaires et du risque de cancer colorectal (Giovannucci et Willett, 1994 ; Glade, 1999 ; Bazzano *et al.*, 2001 ; Kabagambe *et al.*, 2005 ; Michels *et al.*, 2006).

Les glucides (amidon) des légumineuses sont bénéfiques pour les individus qui développent une résistance à l'insuline et pour les diabétiques (Thorne *et al.*, 1983 ; Park *et al.*, 2004 ; Yamada *et al.*, 2005) compte tenu de leur absorption lente par l'organisme d'où leur nom d'aliment à index glycémique faible (Foster-Powell *et al.*, 2002). Deux études ont montré que la consommation d'aliment à index glycémique bas pourrait prévenir l'émergence des maladies métaboliques et même de certains cancers (Du *et al.*, 2014). D'autre part, les  $\alpha$ -galactosides du niébé auraient une fonction prébiotique reconnue (Martinez-Villaluenga *et al.*, 2008).

## **1.3 Composition biochimique des graines de Niébé**

Le tableau 4 caractérise une richesse en protéines et en éléments minéraux des légumineuses qui varie respectivement de 17 à 44 % et de 3 à 5 %. Ces protéines sont localisées principalement dans la partie farineuse de la graine (Gueguen et Lemaire, 1996 ; Calet, 1992). Il est établi par ailleurs que les légumineuses et les céréales se complètent dans la composition des plats du monde rural et du monde défavorisé urbaine dans les pays en développement.

**Tableau 4** : Valeur nutritionnelle comparative du niébé et de quelques variétés de légumineuses

Légumineuses	Nutriments en g/100g Matières Sèches (MS)				
	Protéines	Lipides	Glucides	Fibres	Minéraux
Haricot <sup>(1)</sup>	26,2-43,6	1-1,9	60-65	4 - 5	3,0-4,9
Pois du cap <sup>(2)</sup>	19-25	1-2	48,5-65,9	6,7-23,3	3-5
Ambérique <sup>(3)</sup>	23,3-24,1	0,6-0,8	60-65,5	8,5-12,1	3,5-3,4
Voandzou <sup>(4)</sup>	17,1-17,3	7,6-7,7	71,7-72,1	8,8	3,1-3,2
Niébé <sup>(5)</sup>	25,0-26,3	1,62-1,7	68-69	4-7,4	3,9-4,2

Sources : (1) ANDRIAMAZAORO (1994) ; (2) RABEMAHEFA (1994) ; (3) ANDRIAMAMONJY (2000) ; (4) RAMAHERISOA (2004) ; (5) RABEARIMANANA (2004)

Outre leur richesse en protéines, les graines de niébé sont également riches en glucides complexes, amidon (46,99 % MS) et constituent une source d'énergie assimilable pour l'organisme contre une faible teneur en sucres solubles (7,99 % MS) comme le montre le tableau 5. La teneur en lipides est faible (1,54 % MS) comme le cas de la plupart des légumineuses alimentaires à l'exception du voandzou avec un taux approximatif de 7,6 % MS (Tableau 4).

**Tableau 5** : Composition biochimique des graines de niébé

Composantes nutritives	Teneur en Matière Sèche (MS)
Eau	9,28
Protéines	24,72
Lipides	1,54
Amidon	46,99
Sucres solubles	7,99
Cendres	3,62
Fibres alimentaires	11,65
Solubles	0,99
Insolubles	10,65

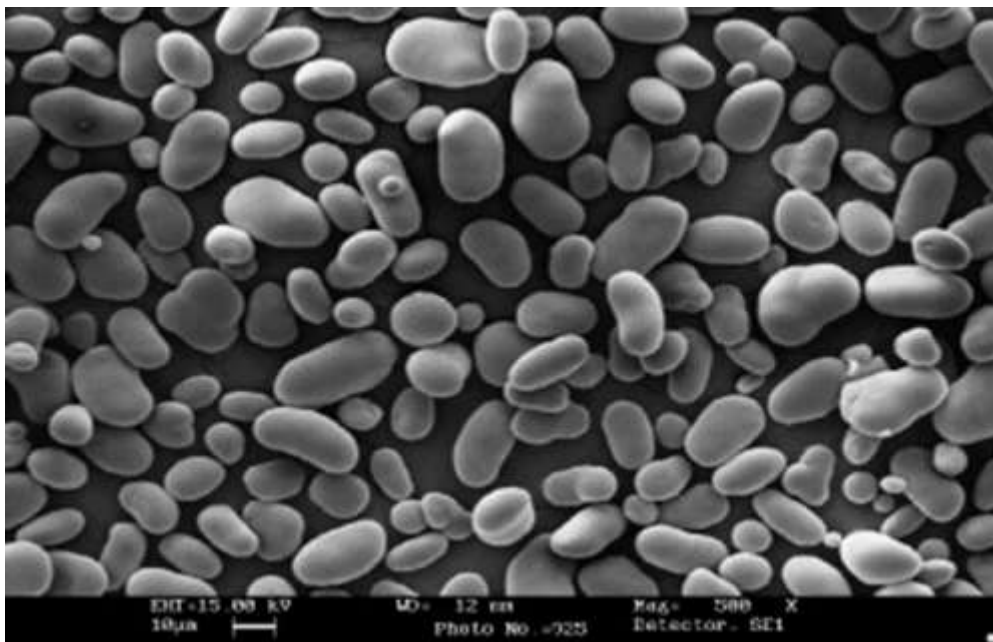
Source : Carnovale *et al.* (1989)



### 1.3.1 Glucides

#### 1.3.1.1 Amidon

Les glucides représentent environ 53 à 66 % de matières sèches (MS) dans les graines de niébé, dont la plupart se trouvent sous forme d'amidon avec une teneur élevée en amylose (Hoover *et al.*, 2010 ; Ashogbon et Akintayo, 2013 ; Ratnaningsih *et al.*, 2016). Par contre les travaux de Huang *et al.* (2007) ont révélé que l'amidon du niébé est constitué de deux molécules principales à savoir : l'amylopectine et l'amylose qui représentent respectivement 67,3 % et 25,8 % dans un grain d'amidon au niveau de l'endosperme. L'amidon reste le constituant glucidique énergétique chez les légumineuses et sa teneur est de l'ordre de 44,1 à 49,6 % MS chez le niébé (Huang *et al.*, 2007 ; Adebooye et Singh, 2008). Il se lie avec les protéines et constituent des réserves de la graine. Les particules d'amidon ont des formes ovale et réniformes (Figure 4) avec une taille en largeur qui varie de 20 à 38  $\mu\text{m}$  et de 15 à 40  $\mu\text{m}$  en longueur (Abu *et al.*, 2006). La gélatinisation de l'amidon de niébé commence à des températures entre 65 et 71 °C avec un pic de gélatinisation maximale à 90°C (Huang *et al.*, 2007).



**Figure 4** : Grains d'amidon du niébé observés par MEB "Microscope Electronique à Balayage"

Source : Adebooye et Singh (2008)

### **1.3.1.2 Fibres alimentaires**

La paroi de toutes les cellules végétales est constituée de sucres non assimilables appelés fibres. Elles sont alimentaires, lorsqu'il s'agit des végétaux comestibles et regroupent les polyposes non amylacés comme les hémicelluloses, les pentosanes, les pectines, la cellulose et la lignine. Il existe deux types de fibres : les fibres insolubles, représentées principalement par la cellulose, l'hémicellulose et la lignine qui assurent un bon transit intestinal en se gonflant d'eau et préviennent ainsi des constipations (Marlett *et al.*, 2002), et les fibres solubles, représentées principalement par la pectine et certaines hémicelluloses qui absorbent une grande quantité d'eau et forment des gels leur permettant de ralentir la vidange gastrique et de procurer un effet de satiété précoce. Elles diminuent également la vitesse d'absorption des glucides dans l'intestin grêle (Panlassigui *et al.*, 1995 ; Nestel *et al.*, 2004) et peuvent être responsable de la non-disponibilité des protéines et éléments minéraux, compte tenu de leurs effets chélateurs (Trowell *et al.*, 1985).

Le niébé renferme surtout des fibres insolubles 10,65 % MS, les fibres solubles constituent seulement 0,99 % MS (Carnovale *et al.*, 1989).

### **1.3.1.3 Sucres solubles**

La teneur en sucres solubles dans les graines de niébé est faible et varie entre 5,5 % de MS (Martins-cabrejas *et al.*, 2008) et 7,25 % de MS (Carnovale *et al.*, 1989). Les sucres solubles du niébé sont essentiellement composés des oligosaccharides responsables de flatulence (raffinose, stachyose, ciceritol) de teneur de 3,66 % MS contre 1,39 % MS pour le saccharose et 0,2 % MS pour le galactose (Marin-Cabrejas *et al.*, 2008).

## **1.3.2 Protéines**

Les principaux contributeurs de protéines et de calories dans les régimes alimentaires afro-asiatiques sont les légumineuses (Iqbal *et al.*, 2006). Les graines de niébé tout comme les autres légumineuses ont presque le même profil nutritionnel avec une teneur en protéines totales deux à quatre fois supérieures à celle des tubercules et des céréales (Timko et Singh, 2008). Cependant les facteurs antinutritionnels comme les inhibiteurs de protéases, les lectines, l'acide phytique, les tanins et les polyphénols, entre autres, peuvent rendre non assimilables ces protéines (Giami, 2005 ; Duranti, 2006). La teneur en protéines du niébé est en moyenne autour de 25 % MS et varie entre 17 et 44 % MS pour les autres légumineuses du tableau 7. Grâce à cette proportion élevée en protéines et en plus d'apports importants de calories, de vitamines et

de minéraux, le niébé comme les autres légumineuses constitue un élément incontournable dans l'alimentation humaine (Deshpande, 1992). D'après les travaux de Freitas *et al.* (2004), les protéines de niébé sont composées en majorité de globulines (51 %), d'albumines (45 %) et dans une moindre quantité des glutéines (3 %) et des prolamines (1 %). La fraction globuline du genre vigna est composée de trois globulines majeures :  $\alpha$ -vignine,  $\gamma$ -vignine et  $\beta$ -vignine. Il faut souligner que les légumineuses ont une forte proportion protéique en globulines (légumine 11S et vicilines 7S) qui constituent la réserve de protéines solubles dans les solutions salées et en albumines de masse molaire comprise entre 5 et 80 kDa, solubles dans l'eau et comportant des enzymes comme les inhibiteurs d'amylases (Derbyshire *et al.*, 1976 ; Khan *et al.*, 1980 ; Yumes *et al.*, 1998 ; Mebdoua, 2011).

### **1.3.2.1 Composition en acides aminés**

La qualité nutritive des protéines dépend de leurs capacités à procurer à l'organisme les acides aminés essentiels en quantité significative (Boye *et al.*, 2012). Tout comme les protéines des céréales déficientes en certains acides aminés essentiels notamment la lysine (Amjad *et al.*, 2003), certaines variétés de niébé sont également déficitaires en acides aminés soufrés (méthionine, cystine et cystéine) à l'image de la plupart des légumineuses (Roca *et al.*, 1990 ; Laurena *et al.*, 1991 ; Nti et Plahar, 1995 ; Plahar *et al.*, 1997 ; Onwuliri et Obu, 2002 ; Vasconcelos *et al.*, 2010 ; Frota *et al.*, 2017). Cependant les résultats des études menées par Iqbal *et al.* (2006) confirmant la thèse d'autres auteurs (Bhatty *et al.*, 2000 ; Hussain et Basahy, 1998), ont montré que le niébé est riche en deux acides aminés essentiels qui sont la méthionine et la thréonine et que la somme de ces acides aminés essentiels dépasse celles de pois chiche, des lentilles et de petits pois (Tableau 6), et est conforme aux recommandations de la norme d'acides aminés pour les enfants d'âges situés entre 2 et 5 ans (FAO/WHO, 1991). Il faut noter que le profil en acides aminés du niébé dépend des facteurs génétiques et agronomiques (Pandourangan *et al.*, 2015). Ainsi pour certains cultivars de niébé, la teneur en acides aminés essentiels est en dessous de la recommandation (Elhardallou *et al.*, 2015 ; Anjos *et al.*, 2016). Le tableau 6 indique la composition en acide aminés de quelques légumineuses dont le niébé.

**Tableau 6** : Composition en acides aminés de quelques légumineuses en pourcentage de protéines totales

<b>Acides aminés (% de protéines)</b>	<b>Pois chiche</b>	<b>Niébé</b>	<b>Lentille</b>	<b>Petit pois</b>
Arginine	8,3a ± 0,21	7,5c ± 0,04	7.8b ± 0.03	7,2d ± 0,04
Histidine	3,0a ± 0,03	3,1a ± 0,03	2,2c ± 0,05	2,4b ± 0,05
Isoleucine	4,8a ± 0,03	4,5b ± 0,03	4,1b ± 0,05	4,5a ± 0,06
Leucine	8,7a ± 0,03	7,7b ± 0,08	7.8b ± 0.05	7,4b ± 0,05
Lysine	7,2b ± 0,03	7,5b ± 0,04	7,0b ± 0,03	8,1a ± 0,07
Méthionine	1,1b ± 0,04	2,2a ± 0,04	0,8c ± 0,02	1,1b ± 0,03
Phénylalanine	5,5b ± 0,04	7,5a ± 0,06	5,0b ± 0,12	5,2b ± 0,04
Thréonine	3,1b ± 0,04	3,8a ± 0,05	3,5a ± 0,04	3,8a ± 0,05
Tryptophane	0,9a ± 0,02	0,7a ± 0,02	0,7a ± 0,03	0,8a ± 0,02
Valine	4,6a ± 0,03	5,0a ± 0,06	5,0a ± 0,05	5,0a ± 0,09
<b>Le total des acides aminés essentiels (E)</b>				
	47,2	49,5	43,9	45,5
Alanine	4,97a ± 0,03	4,2b ± 0,03	4,2b ± 0,04	5,2a ± 0,04
L'acide aspartique	11,0b ± 0,04	10,8b ± 0,08	11,8a ± 0,08	11,0b ± 0,06
Cystine	0,6c ± 0,06	0,5c ± 0,03	0,9b ± 0,04	1,8a ± 0,03
Acide glutamique	17,3bb ± 0,08	17,2b ± 0,06	21,5a ± 0,07	17,5b ± 0,06
Glycine	3,7b ± 0,03	3,8b ± 0,01	3,6b ± 0,05	4,5a ± 0,01
Proline	3,8a ± 0,05	4,0a ± 0,13	3,5b ± 0,03	3,8a ± 0,03
Sérine	3,7c ± 0,02	4,5b ± 0,06	5,2a ± 0,05	5.1a ± 0.54
Tyrosine	2,8c ± 0,06	3,0bc ± 0,05	32a ± 0,06	3,7a ± 0,03
<b>Le total des acides aminés non essentiel (NE)</b>				
	47,7	48	53,9	52,9
<b>Rapport d'acides aminés E /NE</b>				
	0,99	1,03	0,81	0,86

Source : Iqbal *et al.* (2006)

Chaque colonne contient la moyenne et l'écart-type de la moyenne

Les moyennes dans chaque colonne pour chaque culture, suivies de lettres différentes sont significativement différentes ( $p < 0,05$ ).

### 1.3.3 Lipides

Le niébé, tout comme les légumineuses, contient une faible teneur en lipides. Cette teneur se situe entre 1 et 6 % MS (Nwaga *et al.*, 2000), ou de 4,8 % MS (Iqbal *et al.* 2006), mais la moyenne générale représente 2 % MS (Rabearimanana, 2004). Le profil lipidique des graines de niébé comprend : 25,1 % de phospholipides, 10,6 % de monoglycérides, 7,9 % d'acide gras libres, 7,8 % de diglycérides, 5,5 % de stérols et 2,6 % d'hydrocarbures plus esters de stérol (Zia-Ul-Haq *et al.*, 2010 ; Antova *et al.*,2014). Le tableau 7 indique les détails en acide gras du niébé.

Tableau 7 : Composition en acide gras des graines de niébé en pourcentage de lipide

Acides gras	Palmitique	Palmitoléique	Stéarique	Oléique	Linoléique	Linoléinique	Arachidique	Béhénique
	(16,0)	(16,1)	(18,0)	(18,1)	(18,2)	(18,3)	(20,0)	(22,0)
Pourcentage d'acides gras totaux	27,63	0,32	5,09	8,15	30,86	23,19	1,49	2,91

Source : Piergiovanni *et al.* (1990)

### 1.3.4 Micronutriments

Ce sont des composés organiques ou inorganiques nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme et qui ne produisent pas d'énergie. Les plus essentiels dans l'alimentation humaine comprennent 17 minéraux et 13 vitamines (DellaPenna, 1999).

### 1.3.5 Eléments minéraux

Les minéraux jouent plusieurs rôles dans plusieurs activités de l'organisme humain dont celui de cofacteurs de certaines enzymes. Un apport adéquat en éléments minéraux permet d'éviter un large risque de santé (Welch et Graham, 2004 ; Santos et Boiteux, 2013).

Les difficultés d'assimilation par l'organisme des minéraux de légumineuses restent un inconvénient majeur de ce produit. L'assimilation du fer varie entre 14 à 18 % pour une alimentation mixte et entre 5 à 12 % pour une alimentation végétarienne (Hurelle et Egli, 2010).

D'après le tableau 8, le niébé contient une quantité énorme de potassium (1280 mg/100g MS) cependant, certains modes de préparation (trempage) occasionnent des pertes en éléments minéraux (Bressani, 2000).

**Tableau 8** : Composition en éléments minéraux de quelques légumineuses (mg/100g MS)

<b>Composition en éléments minéraux</b>	<b>Pois chiche</b>	<b>Niébé</b>	<b>Lentille</b>	<b>Petit pois</b>
<b>Sodium (Na)</b>	101	102	79	111
<b>Potassium (K)</b>	1155	1280	874	1021
<b>Phosphore (P)</b>	25	303	294	283
<b>Calcium (Ca)</b>	197	176	120	110
<b>Fer (Fe)</b>	6,1 <sup>2</sup>	8,8 <sup>1</sup>	12,6 <sup>2</sup>	6,0 <sup>3</sup>
<b>Cuivre (Cu)</b>	11,6	9,7	9,9	10,0
<b>Zinc (Zn)</b>	6,8	5,1	4,4	3,2
<b>Manganèse (Mn)</b>	1,9	1,7	1,6	2,2

Sources : Iqbal *et al.* (2006) ;<sup>1</sup>Carnovale *et al.* (1989) ; <sup>2</sup>Combe *et al.* (1991) ;  
<sup>3</sup> Besançon (1978)

### 1.3.6 Vitamines

Le maintien de diverses fonctions d'importance physiologique est possible grâce en partie aux rôles des vitamines (Hardisson *et al.*, 2001). Les légumineuses sont d'excellentes sources de vitamines (Shils *et al.*, 1999), telles que la vitamine B9 (acide folique) en petite quantité qui est très importante pour les femmes enceintes et dont l'assimilation par l'organisme est difficile compte tenu de sa liaison avec d'autres molécules (Kadam et Salunke, 1989). L'acide folique du niébé est une vitamine hydrosoluble et n'est pas synthétisé par l'organisme humain. La teneur est de 603 µg/100g MS pour le niébé (Mebdoua, 2011), 101,5 µg/100g MS pour le pois, 149 µg/100g MS pour le pois chiche et entre 148 à 676 µg/100g pour le haricot (Dang *et al.*, 2000). Le niébé contient également d'autres vitamines en quantité appréciable comme la vitamine A, la vitamine C, la thiamine, la riboflavine, la niacine, la vitamine B6 et l'acide pantothénique (Asare *et al.*, 2013). La teneur en vitamine E du niébé est différente de la plupart des légumineuses avec une dominance en γ-tocophérol (Gonçalves *et al.*, 2016).

### 1.3.7 Facteurs antinutritionnels (FAN)

Les facteurs antinutritionnels sont définis comme toute substance susceptible de réduire l'efficacité ou de perturber l'assimilation ou la biodisponibilité d'un ou des nutriments sur leur site d'utilisation cellulaire dans l'appareil digestif (Besançon, 1978). Certains ont la capacité d'inhiber les enzymes nécessaires à la digestion.

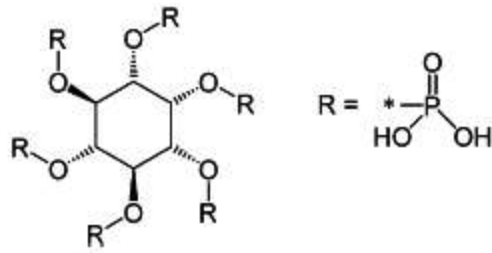
Les graines de niébé comme toutes les légumineuses en contiennent, ce qui diminue en réalité leurs valeurs nutritives. Ainsi la valeur nutritive réelle du niébé ne dépend pas seulement de la teneur en nutriments, mais également de sa composition et du degré d'activité des facteurs antinutritionnels « FAN ».

Il existe plusieurs FAN dans les légumineuses dont l'acide phytique ou phytates (forme naturelle anionique de l'acide phytique au pH 6-7), les polyphénols dont les tanins, les inhibiteurs d'enzymes (les anti-protéases dont les inhibiteurs de chymotrypsine et de trypsine), les lectines ou phyto-hémagglutinines et les oligosaccharides de flatulence.

#### 1.3.7.1 Acide phytique

L'acide phytique, de nom chimique : acide myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakisphosphate ou hexakisphosphate de myo-inositol ou IP6 de formule brute  $C_6 H_{18} O_{24} P_6$ , est la principale réserve de phosphore dans les grains à maturité de légumineuses et de céréales. Sa molécule se compose d'un cycle myo-inositol et de 6 phosphates (Figure 5) (Kumar *et al.*, 2010). C'est un polyanion et excellent chélateur des cations divalents tels que le fer, le zinc, le cuivre (Weaver et Kannan, 2002). Il possède également une forte capacité de former un complexe avec des protéines. Les phytates sont les sels d'acide phytique, qui constituent les composés naturels exerçant une réelle influence sur les propriétés nutritives et fonctionnelles des aliments d'origine végétale et dans les graines de niébé (McWatters *et al.*, 1992 ; Bressani, 1993). La teneur en phytates du niébé varie entre 424 et 930 mg/ 100g MS selon Carnovale *et al.* (1989) et peut atteindre jusqu'à 1230 mg/100 g MS selon Lyayi *et al.* (2008).

Les complexes phytates-protéine et phytates-minéraux ont des faibles solubilités d'où la diminution de la disponibilité de ces protéines et minéraux dans un aliment (Besançon *et al.*, 1995 ; Urbano *et al.*, 2000). En plus de l'acide phytique IP6 (à 6 phosphates) dans une proportion de 83 – 87 %, il existe également à des très faibles teneurs, d'autres phosphates d'inositol, comme les pentaphosphates d'inositol IP5 (13-17 %) et des traces de tétraphosphates d'inositol IP4, dans les graines de niébé (Almeida *et al.*, 2008).



**Figure 5** : Structure moléculaire de l'acide phytique

Source : Kumar *et al.* (2010)

### 1.3.7.2 Inhibiteurs de protéases

Ils jouent un rôle de défense naturelle contre les insectes pour les espèces végétales (Kensal *et al.*, 2008). Ce sont des protéines qui se comportent comme des inhibiteurs de protéases en agissant sur les enzymes protéolytiques du pancréas (trypsine et chymotrypsine) en formant des complexes très stables avec ces dernières. Selon les études de Hathcock (1991), la formation de complexes, protéases digestives / facteurs anti-protéases, induit une baisse de concentration d'enzymes protéolytiques pancréatiques. Par conséquent il y a une hypersécrétion compensatrice de trypsine qui provoque une hypertrophie du pancréas chez les petits animaux de laboratoire (Besançon, 1994). Ces inhibiteurs sont composés d'acides aminés essentiels et localisés spécialement dans les globulines et albumines (Vasconcelos *et al.*, 2010). Ils sont thermolabiles et ne sont accessibles qu'après dénaturation (Cheftel, 1985 ; Cuq et Leynaud - Rouand, 1992 ; Besançon, 1994).

Chez le niébé, le facteur d'inhibiteur de protéases isolé, est de type Browman-Birk (Xavier-Filho et Ventura, 1988 ; Silva *et al.*, 2001) et est responsable de l'effet antinutritionnel par réduction de la digestibilité ou l'assimilation des protéines. Il est constitué d'un seul polypeptide de 83 acides aminés et deux sites actifs qui inhibent séparément et simultanément la trypsine et la chymotrypsine dont la masse molaire varie entre 7 et 10 KDa (Belitz et Weder, 1990 ; Freitas *et al.*, 1997 ; Campos-Vega *et al.*, 2010).

### 1.3.7.3 Polyphénols : tanins

Les polyphénols sont une famille de molécules complexes (flavonoïdes, tanins, acides phénoliques) que produisent les plantes d'une manière naturelle pour se défendre contre les agressions. Ils sont présents dans les différentes parties d'une plante, des racines jusqu'aux



fruits. Ils sont considérés comme des métabolites secondaires car ils n'interviennent pas dans des processus métaboliques directement. Les tanins sont des composés polyphénoliques. Il existe des tanins hydrolysables et des tanins condensés. On retrouve chez les graines de céréales et de légumineuses, les tanins condensés qui sont localisés dans les pellicules et jouent un rôle de protection contre les attaques de prédateurs herbivores et des champignons pathogènes. Bien qu'ils confèrent des avantages de défense pour la graine, ils ont des effets antinutritionnels (Salunkhe *et al.*, 1982). Ils se lient aux protéines et forment un complexe qui se précipite et rend les protéines indisponibles (Chung *et al.*, 1998). Par le même phénomène, ils diminuent la digestibilité de l'amidon et la valeur biologique de la graine (Bressani, 1993). Cependant, bien que les polyphénols et les tanins aient des effets antinutritionnels, ils sont réputés pour leurs effets bénéfiques d'antioxydants (Yeh et Yen, 2003). Les graines de niébé en contiennent une teneur variable selon les caractéristiques phénotypiques et selon les variétés, entre 0 et 260 mg/100g MS d'après les travaux de Marconi *et al.* (1990).

#### **1.3.7.4 Phyto-hémagglutinines ou lectines**

Ce sont des protéines de poids moléculaires élevés présentant une affinité pour les glycoprotéines. Ils sont retrouvés dans toutes les parties de la plante et représentent entre 1 à 3% de la matière sèche des graines de légumineuses. Ils ont une propriété de s'agglutiner aux résidus glycosyl présents sur les parois des globules rouges (Lajolo et Genovese, 2002). Par ces capacités à se fixer aux glycoprotéines membranaires de la muqueuse intestinale, les lectines réduisent l'absorption des nutriments et créent des troubles gastro-intestinaux (Liener, 1974 ; Balint, 2000 ; Grant *et al.*, 2000 ; Reynoso-Camacho *et al.*, 2003). Cependant les lectines de lentilles, de fève, de pois ne sont pas toxiques et n'ont pas d'effet antinutritionnel sur la croissance, selon l'étude de Campos-Vega *et al.* (2010). Les travaux de Marconi et Carnovale (1993) ont montré que plusieurs cultivars de niébé ont une teneur très faible en lectine. En revanche Vasconcelos *et al.* (2010) ont estimé dans les graines de niébé la teneur en lectine entre 180,3 HU/kg et 540,3 HU/kg.

#### **1.3.7.5 Oligosaccharides de flatulence**

La production de flatulence après consommation de légumineuse constitue un frein à sa consommation (Akisoe *et al.*, 2019). Les oligosaccharides sont des substances glycosiques dont le raffinose ( $\alpha$ -galactosido 1,6-saccharose), le stachyose ( $\alpha$ -galactosido 1,6-raffinose) et le verbascose ( $\alpha$ -galactosido 1,6-stachyose). L'organisme ne dispose pas d'enzyme spécifique

pour les dégrader, d'où sa fermentation dans le colon pour produire du gaz carbonique, d'hydrogène et de méthane se traduisant en troubles intestinaux (Cristofaro *et al.*, 1974 ; Price *et al.*, 1988 ; FAO, 1990 ; Bartkienne *et al.*, 2015 ; Sathya et Siddhuraju, 2015 ; Kasproicz-Potocka *et al.*, 2015, 2016). Selon les travaux de Martin-Cabrejas *et al.* (2008), le niébé a une teneur en oligosaccharides de flatulence de 3,36 g pour 100g de MS. Des effets bénéfiques sont également attribués à ces oligosaccharides, à savoir l'effet prébiotique favorisant le développement des *bifidobacteria* dans le gros intestin (Bouhnik *et al.*, 2004), où s'effectue leur métabolisme.

## **1.4 Consommation et mode de préparation**

### **1.4.1 Consommation des graines de niébé**

Dans le monde, les légumineuses sont très largement consommées sous plusieurs formes. En Afrique subsaharienne, la consommation des légumes secs à graines est l'une des plus importantes au monde avec près de 13 kg/personne/an contre 3 kg/personne/an en Amérique du Nord et en Europe (Mouquet-Rivier et Amiot, 2019 ; Cruz *et al.*, 2019). Le niébé se révèle comme un aliment de choix, supérieur en particulier à *Voandzeia subterranea* et *Lablab-niger* car il fournit de l'azote de haute qualité biologique (Adrian, 1964 ; Fofana, 1964 ; Tardieu et Sené, 1966) et constitue l'une des principales sources caloriques pour une grande partie de la population mondiale (Phillips *et al.*, 2003 ; Vasconcelos *et al.*, 2010). Cependant sa consommation, n'est pas homogène dans le monde et varie donc d'une région du monde à une autre. Dans la plupart des cas, le niébé est consommé avec des céréales et produits dérivés (Rachie et Roberts, 1974 ; Ngarmsak, 1989).

### **1.4.2 Mode de préparation du niébé**

Les différentes modes de préparation du niébé ont conduit à une variété de plats obtenus à partir des graines dans une large majorité. Ces plats sont principalement élaborés grâce à une combinaison de techniques comprenant : le trempage, le dépelliculage, le fouettage, le broyage et la cuisson par friture ou à l'eau. Les graines sont soit préparées seules, soit en combinaison avec des céréales (maïs, riz...), des racines et des tubercules, et/ou des huiles de cuisson et des assaisonnements tels que du sel, du poivre et des crevettes rôties et autres (Madodé *et al.*, 2011). Au Togo, les graines de légumineuse sont essentiellement préparées de deux façons : soit comme des aliments principaux ou accompagnant un plat consommé au petit déjeuner, au déjeuner ou au dîner, soit utilisées pour l'enrichissement en protéine des farines infantiles.

Cependant, au Sénégal, les graines fraîches sont consommées en gousse (Niar) ou écoscée (Khoulas). Le niébé égrainé frais ou sec peut être préparé avec le riz ou le couscous de mil, soit bouilli et mélangé avec du sucre ou du miel. Le couscous de niébé (Tiopor), les boules de niébé sucré cuit à la vapeur et le beignet de niébé sont assez répandus au Sénégal (Tardien et Séné, 1966). En Algérie, le niébé est moins consommé et est principalement utilisé dans la préparation du plat traditionnel le Tawasse dans la région du Tidikelt et de Djanet (Boubkeur, 2007). Les travaux de Rakotondrasoa (2016) révèlent qu'à Madagascar, les diverses modes de préparation des légumineuses dont le niébé sont l'association de légumineuses avec des céréales ou du manioc (Soroba) ; et l'association des graines de légumineuses avec du riz à quantité plus élevée (Sorondro). Les graines fraîches ou sèches peuvent être cuites seulement avec de l'eau et du sel, parfois ajoutées à d'autres ingrédients sont consommées comme un plat principal (Vohevoho) ; ou les graines fraîches cuites avec leurs gousses (Sambaika) et les légumineuses cuites avec d'autres ingrédients comme : la viande, l'huile et des légumes, sont consommées en accompagnement du riz ou d'autres plats principaux (Laoka).

Dans le même ordre d'idée, une étude de Timatey *et al.* (2021) a décrit la transformation des graines secs de niébé en couscous appelé au Mali Shô bassi. Ce couscous est un aliment très prisé dans le pays. Il est obtenu par le dépelliculage et la transformation en semoule du niébé suivi de la granulation de la semoule et afin d'une étape de séchage après cuisson à la vapeur de la semoule sous forme granulée. Les travaux de Madodé *et al.* (2011) concernant la consommation du niébé au Bénin révèlent qu'il est consommé sous diverses formes (Figure 6) : soit préparé avec du riz (Atassi), soit préparé sous forme de ragoût et consommé avec une sauce tomate (Abobo et Vêyi), ou sous forme de purée (Adowè), certaines fois préparé avec de la farine de maïs et de l'huile (Djongoli, Abla) ou enfin préparé sous forme de beignets (Ata, Ata-doco et Attaclè). Ainsi, sous d'autres appellations, on retrouve les mêmes préparations dans tous les pays consommateurs de niébé (Cruz *et al.*, 2019). Les beignets de niébé sont donc nommés Samsa au Burkina Faso, Ata au Benin, Akara au Nigéria et au Sénégal, Koose au Ghana et Gawou au Togo. Tandis que sa préparation avec du riz est appelé Waakye au Ghana, Atassi au Bénin, Binga au Burkina Faso et Ayimolou au Togo.



**Figure 6 :** Photos des différentes formes de consommation des graines niébé au Bénin

Source : Akissoe *et al.* (2019)

Il y a également une pâte de niébé cuite à la vapeur obtenue à partir du trempage, du dépelliculage humide et du lavage du niébé, appelé Magni-magni, Lèlè, ou Alèlè au Bénin et Togo, Moin-moin au Nigeria, ou Koki au Cameroun. Elle est préparée à partir des graines de niébé qui sont dépelliculées puis moulues avec des assaisonnements au goût. Le tout est fouetté, mélangé avec de l'huile de palme et du sel et enfin enveloppé dans des feuilles de bananier ou emballé dans des boîtes recyclées pour la cuisson à la vapeur. Eventuellement, une source de protéines animales (poisson, œuf à la coque, etc.) est ajoutée avant de cuire à la vapeur (Madode *et al.*, 2011). La forme purée de niébé appelée communément Adowè au Bénin et au Togo constitue une originalité par rapport à toutes les formes précitées et se base sur une technique ancestrale qu'on ne trouve pas ailleurs d'où la pertinence de la documenter et la raison fondamentale de notre étude. Cette préparation se fait à base du niébé dépelliculé puis cuit à l'eau et ensuite le tout est réduit en purée à l'aide d'une spatule.

## **1.5 Technique de dépelliculage traditionnel des légumineuses**

### **1.5.1 Trempage**

C'est un procédé technologique d'immersion des graines de légumineuses ou céréales pendant un temps, dans le but de les ramollir avant la cuisson ou avant le dépelliculage ou avant la

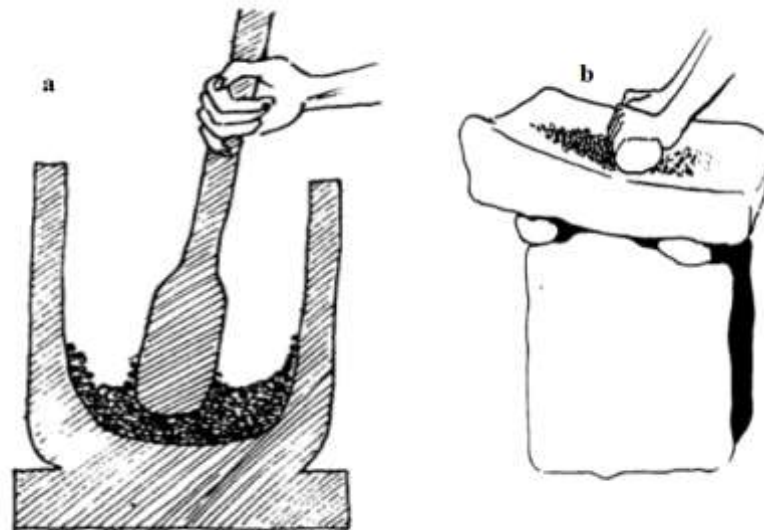
mouture. L'effet bénéfique de cette opération unitaire sur les facteurs antinutritionnels a été rapporté par de nombreux auteurs tandis que d'autres n'ont pas constaté de changement majeur. Outre son rôle de ramollissement, le trempage hydrate les graines et déclenche la germination et la fermentation, initiant ainsi les réactions enzymatiques endogènes qui hydrolysent les oligosaccharides de flatulence et qui réduisent la teneur en phytates, et autres facteurs antinutritionnels « FAN » (Duhan *et al.*, 1989 ; Sandberg et Svanberg, 1991).

Kakade et Evans (1966) ont montré qu'un trempage de 4 jours détruit environ 28 % de l'activité de l'inhibiteur de trypsine et 75 % de l'activité des lectines chez le haricot (*Phaseolus vulgaris*). Une bonne partie des FAN est éliminée dans l'eau de trempage (Lopez, 1987) comme les  $\alpha$ -galactosides et les phytates. Les travaux de Pearson (1976) ont montré qu'un trempage de 18h diminue de 65 % l'activité hémagglutinine des lectines de niébé, alors que 24 h de trempage à température ambiante élimine plus de 66 % l'activité anti-trypsique pour le haricot mungo, 93 % pour les lentilles, 59 % pour le pois chiche et de 100 % pour les fèves. D'autres auteurs à l'instar de Marquez et Alonso (1999) ont affirmé une réduction de 30 % des inhibiteurs de trypsine pour le pois chiche après un trempage de 16h dans de l'eau contenant 1 % d'acide citrique ( $C_6H_8O_7$ ) ou 1 à 2 % de bicarbonate de soude ( $NaHCO_3$ ) à 25 °C. Toutefois, Egounlety et Aworh (2003) ont démontré une absence d'effet de trempage sur les inhibiteurs de trypsine chez le niébé. Les tanins et les phytates voient leurs teneurs réduites, selon d'autres auteurs (Phillips, 1993 ; Afoakwa et Yenyi, 2006 ; Luo *et al.*, 2009). Lestienne *et al.* (2003) ont montré une réduction significative de la teneur en phytates chez le niébé, alors que Avanza *et al.* (2013) ont affirmé le contraire. L'aspect négatif de l'opération de trempage est qu'il occasionne également la perte des éléments minéraux, constaté dans le cas du soja selon Bayram *et al.* (2004) et le cas du haricot et des autres légumineuses (Sattar *et al.*, 1989 ; El-Adawy *et al.*, 2003). Prodanov *et al.* (2004) ont rapporté une perte de 7 % de thiamine (vitamine B1) et de 26 % de niacine (vitamine B3) chez le pois chiche.

### **1.5.2 Pilage et broyage**

Dans les ménages, très couramment, la méthode la plus simple de dépelliculer les légumineuses est de les piler ou de les broyer ou les deux à la fois (Figure 7). Ces méthodes sont réparties selon la quantité d'eau utilisée en méthode par voie humide ou par voie sèche. Ces deux méthodes sont pratiquées dans les régions tropicales semi-arides, mais particulièrement dans le centre et le nord de l'Inde. En Afrique et en Amérique centrale la méthode par voie sèche est plus adoptée (Aykroyd et Doughty, 1964). Selon Dovlo *et al.* (1975), la méthode par voie

humide seule ou les deux méthodes sont conjointement utilisées dans la préparation des repas à base de niébé et lorsqu'il s'agirait de préparer la farine du niébé, la méthode par voie sèche est employée au Nigéria. La méthode par voie humide consiste à hydrater et à faire gonfler l'pellicule par un trempage rapide de quelques minutes ou à asperger les graines d'eau et ensuite séparer l'pellicule ramollie du cotylédon par pilage abrasif dans un mortier à l'aide d'un pilon ou par broyage. Au cours de l'opération, les graines se frottent les unes contre les autres sous l'effet de la force axiale du pilon. A la fin de l'opération, le mélange est séché au soleil puis vanné pour éliminer les pellicules. La méthode par voie sèche consiste à directement piler ou broyer les graines et ensuite à extraire l'pellicule par vannage. On peut également plonger les graines concassées dans de l'eau et extraire les pellicules qui remontent à la surface.



**Figure 7** : Pilage des graines (a) et broyage des graines (b)

Source : Cruz *et al.* (2019)

### **1.5.3 Rôtissage, grillage, étuvage ou cuisson**

Ces opérations consistent à soumettre les graines à la chaleur pendant une durée plus ou moins longue. Les graines ainsi rôties ou grillées ou étuvées, peuvent facilement se débarrasser de leurs pellicules fragilisées. Ces graines peuvent être trempées après les opérations de chauffage, les cotylédons se rétractent de l'pellicule et ce dernier s'enlève dans l'eau de trempage (Kurien et Parpia, 1968). Ces traitements thermiques sont appliqués aux légumineuses dans le but de les rendre plus digestes par modification de leur structure physico-chimique. Ils servent également

à rendre les aliments sains par destruction des microorganismes néfastes (larves et œufs de parasites, bactéries) qu'ils peuvent contenir. La modification de la structure physico-chimique permet la dextrinisation de l'amidon, la dénaturation des protéines et l'attendrissement des fibres. La cuisson permet une amélioration de la valeur nutritive des légumineuses par l'inactivation des FAN thermolabiles à savoir les lectines et les anti-protéases (Khokhar et Chauhan, 1986). Il faut noter également que cela occasionne une forte perte des éléments minéraux qui se diffusent dans l'eau de cuisson. Les études sur les légumineuses (*Phaseolus vulgaris*, *Vicia faba*, *Pisum sativum*, *Lens esculenta*, et *Cicer arietinum*) effectuées au Chili par Gallardo *et al.* (1974) ont montré l'inactivité de l'inhibiteur de la trypsine et de l'effet d'hémagglutinine des lectines à une chaleur humide de plus de 100 °C. Il y a un effet remarquable d'inactivation lorsque les légumineuses sont trempées au préalable pendant 14h. Kurien *et al.* (1972) ont suggéré que la chaleur peut éliminer les FAN des légumineuses, les facteurs toxiques, en plus de faciliter le dépelliculage. La chaleur est utilisée pour éliminer la presque totalité des effets toxiques ou anti-nutritifs des légumineuses dont les inhibiteurs de la trypsine, les hémagglutinines, les glucosides cyanogénétiques, les agents goitrigènes, les alcaloïdes et les saponines (Liener, 1962). La cuisson diminue les teneurs des minéraux d'une manière assez variable selon le minéral et la légumineuse. Ainsi, Avola *et al.* (2012) ont montré qu'il y a diffusion du calcium et du magnésium lors de la cuisson du pois chiche. Le pourcentage de perte en minéraux varie entre 30 et 89 % pour le calcium, entre 21 et 35 % dans le cas du zinc et 11 % du fer chez le pois chiche (Attia *et al.*, 1994 ; Alajaji et El-Adawy, 2006). Les inhibiteurs de trypsine sont détruits à plus de 80 % lors de la cuisson du niébé tandis que pas d'effet observé sur les alpha-galactosides (Akinyele, 1989). Par contre Egounlety et Aworh (2003) ont observé chez le niébé une diminution de 47 % du raffinose et de 65 % de stachyose et de 83 % des inhibiteurs de trypsine après 7 min de cuisson. Quant aux phytates du niébé, Avanza *et al.* (2013) ont rapporté une diminution de 22 % après une cuisson de 20 à 60 min. Cependant chez le pois chiche, Wang *et al.* (2010) ont soutenu qu'il n'y a pas d'effet sur les phytates, mais ont remarqué une diminution de 85 % des inhibiteurs de trypsine, tandis que les travaux de Alajaji et El-Adawy (2006) ont montré une diminution de 30 % de phytates de 51 % des inhibiteurs de trypsine chez le pois chiche.

## **1.6 Autres traitements de réduction des facteurs antinutritionnels**

### **1.6.1 Germination**

La germination est une méthode qui permet le développement et la croissance de l'hypocotyle ou la jeune pousse de 5 à 15 cm (Stanton *et al.*,1966). Les processus enzymatiques complexes (activités protéasiques et amylasiques) des graines de légumineuses sont déclenchées par la germination, avec hydrolyse de l'amidon et des protéines de réserve qui permette de nourrir l'embryon de la jeune plante (Podesta et Plaxton, 1994 ; Ferreira *et al.*, 1995 ; Jachmanian *et al.*,1995 ; Ziegler, 1995). La méthode de germination s'est développée ces dernières années à partir de procédés traditionnels. C'est une méthode qui consiste à tremper les graines sans dépelliculage dans de l'eau pendant quelques heures puis les égoutter et les laisser germer. Une germination pendant un temps long, affecte négativement les propriétés organoleptiques des graines de légumineuses (Nnanna *et al.*,1990 ; Uwaegbute *et al.*,2000) et occasionne des pertes de matières sèches si elle dépasse 48 h (Mbithi-Mwikya *et al.*,2000). Cependant, les légumineuses germées sont plus digestes et pourraient être exploitées dans l'alimentation infantile (Calet, 1992 ; Ramaherisoa, 2004). C'est une méthode répandue dans le monde pour améliorer les qualités organoleptiques des légumineuses, la digestibilité des graines et accroître la teneur en acides aminés (Chang et Harrold, 1988). La germination du niébé favorise une augmentation de la teneur en acide ascorbique de l'ordre de 23,3 mg / 100g de MS (Doblado *et al.*, 2007). Cette augmentation de la vitamine C a également été observée chez le niébé et d'autres légumineuses (Chen *et al.*, 1975 ; Fordham *et al.*,1975 ; Abdullah et Baldwin,1984 ; Ahmad et Pathak, 2000).

D'autres auteurs ont rapporté l'effet positif de la germination sur certains facteurs antinutritionnels notamment une réduction significative de la teneur des facteurs anti trypsiques (Mbithi-Mwikya *et al.*, 2001 ; Ibrahim *et al.*, 2002) alors que d'autres auteurs ont rapporté une légère augmentation des facteurs anti trypsiques chez certaines variétés de pois d'angole (*Cajanus cajan*) après trois jours de germination et une brusque diminution entre le 3-ème et le 6-ème jour de germination (Batra *et al.*,1986). D'autre part, Chang et Harrold, (1988) et Frias *et al.* (1995) ont montré qu'aucune variation de la teneur des facteurs anti-trypsiques ne se produit chez le haricot et la lentille pendant une germination inférieure ou égale à 6 jours. Martin-Cabrejas *et al.* (2008) ont rapporté qu'une germination de 96 h du niébé diminue de 94 % les oligosaccharides de flatulence, par l'accroissement de l'activité de l'enzyme  $\alpha$ -galactosidase.



### **1.6.2 Fermentation**

La fermentation est un procédé de transformation de certains aliments par les micro-organismes à travers la sécrétion de leurs enzymes. Ce procédé est bien connu dans les sociétés traditionnelles anciennes du monde entier et d'Afrique jusqu'à ce jour, ainsi les types d'aliments fermentés sont préparés un peu partout en Afrique (Blandino *et al.*, 2003). De nombreux avantages sont attribués à la pratique de ce procédé notamment : la réduction des risques de prolifération d'agents pathogènes par acidification du milieu, la dégradation de certains facteurs antinutritionnels comme les phytates, les oligosaccharides de flatulence et les inhibiteurs de trypsine (Granito *et al.*, 2002 ; Ibrahim *et al.*, 2002) et le développement spécifique de qualités organoleptiques par synthèse d'acides organiques et arômes (Nout, 1994 ; Nout et Sarkar, 1999). La fermentation permet également la digestibilité des protéines des légumineuses (Salunkhe et Kadam, 1989) et la dégradation des oligosaccharides de flatulence sous l'action des microorganismes. Shimelis et Rakshit (2008) ont rapporté une diminution d'acide phytique, d'inhibiteurs de trypsine et des oligosaccharides de flatulence, chez le haricot fermenté. D'autres auteurs ont montré une diminution importante des facteurs antinutritionnels chez le haricot trempé puis cuit et le haricot fermenté (Barampama et Simard, 1995).

### **1.6.3 Mouture**

Cette opération vise à dépelliculer les graines de légumineuses ayant une pellicule rigide et fibreuse. Elle est très utilisée en Afrique et Asie dans les régions les plus consommatrices de légumineuses. La mouture permet d'éliminer successivement les couches extérieures de la graine; et en particulier celles qui forment la pellicule, par une action abrasive qui s'exerce sur la graine entière. Les moulins manuels simples ou motorisés et à meules verticales (Figure 8), sont utilisés pour broyer ou dépelliculer les graines; et en faire du gruau ou de la farine qui servent directement à l'alimentation. Les pellicules sont enlevées ensuite par méthode sèche ou humide.



**Figure 8 :** Moulin à meules verticales

Source : Cruz *et al.* (2019)

Le tableau 9 récapitule les différents traitements et utilisations traditionnelles des légumineuses tandis que le tableau 10 montre les différents traitements et utilisations des légumineuses selon des techniques nouvelles et améliorées.

Tableau 9 : Traitement et utilisations traditionnelles des légumineuses

<b>Méthodes de traitement</b>	<b>Forme, après traitement</b>	<b>Aliments</b>
Broyage	Tourteau, farine, gruau, pâte,	Pain azyne, Biscuits,
Pilage	dhal (Pois d'angole écosés	Gâteaux, Nouilles, Bouillies,
Mouture	et cassés), entières	Gruau, Ragoûts, sauces
Cuisson à l'eau	Entières, dépelliculées et non dépelliculées	Ragoûts, plats de légumes, soupes, condiments
Rôtissage, grillage ou séchage	Entières, dépelliculées et non dépelliculées	Collations, garnitures, aliments d'appoint
Friture	Entières, dépelliculées et non dépelliculées, farine, pâte (de pâtisserie), pâte à frire, pâte à pain	Collations, pains, gâteaux, aliments d'appoint
Gonflement	Entières, non dépelliculées	Goûter, collations et aliments d'appoint
Germination	Entières, non dépelliculées	Fèves germinées, cari, plats de légumes
Fermentation	Farines, pâte de pâtisserie, pâte à frire	Pâtes frites, mets orientaux, condiments
Agglomération	Farine	Céréales, couscous
Mise en conserve (Etuage)	Entières, non dépelliculées	Plats de légumes, salades

Source : Siegel et Fawcett (1978)

**Tableau 10** : Traitement et utilisation des légumineuses selon des nouvelles techniques améliorées

<b>Méthode de traitement</b>	<b>Forme, après traitement</b>	<b>Forme des aliments</b>
Dépelliculage et broyage mécaniques	Légumineuses entières, farine, grosse farine, pâte	<b>Mets traditionnels</b> : bouillie, ragoût gruau, couscous etc. <b>Nouveaux aliments</b> : Pains, pâtes alimentaires, aliments pour collations (par exemple : les chips), sucreries, bonbons
Pré-cuisson Séchage Broyage	Légumineuses entières, écosées, à cuisson rapide, poudres de légumineuses pour préparations instantanées	<b>Mets traditionnels comme ci-dessus.</b> <b>Nouveaux aliments</b> : breuvages, aliments pour goûters, aliments d'appoint, soupes, plats orientaux
Agglomération Classification pneumatique Précipitation	Concentrés de protéines de légumineuses	<b>Mélanges de légumineuses et de céréales</b> : pains, pâtisseries, plats cuits au four, pâtes alimentaires, aliments pour bébés, gâteaux, crêpes. <b>Succédanés d'aliments</b> : Riz, simili-viande, liants à viande, aliments d'appoint.

Source : Siegel et Fawcett (1978)

## Conclusion

Dans ce chapitre consacré à la synthèse bibliographique, nous avons démontré que les graines de niébé pourraient être un levier dans la lutte contre la malnutrition en Afrique et dans le monde. Les agroressources locales regorgent de nombreux atouts et doivent être mises en valeur. Le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.), originaire d'Afrique, s'est diffusé dans le monde entier et est la plus importante légumineuse dans les zones de la savane tropicale. En Afrique, il représente une grande proportion de production mondiale d'environ 95 % avec plus de 80 % produite en Afrique de l'Ouest. Les vertus nutritives (25 % de protéines et 55 % de glucides en moyenne) des graines de niébé ont fait l'objet de plusieurs études avérées démontrant son potentiel nutritif. Cependant il contient certains éléments appelés facteurs antinutritionnels (FAN) qui mettent en péril les nutriments. Ces FAN forment avec les nutriments, des complexes non assimilables par l'organisme. Il existe des techniques de prétraitement des graines qui ont largement été documentées pour réduire, voire éliminer ces substances anti nutritives. L'application de ces techniques pourra rendre aux graines de niébé toutes leurs valeurs nutritives.

Dans les prochains chapitres sont portés sur nos travaux consacrés à la transformation des graines de niébé en purée (Adowè).

# **Chapitre 2 : Etude de la production traditionnelle et de la consommation de la purée de niébé « Adowè » au Togo**

## Introduction

La malnutrition protéino-calorique est un syndrome nutritionnel majeur affectant plus de 170 millions d'enfants d'âge préscolaire et de mères allaitantes dans les pays afro-asiatiques en développement (Iqbal *et al.*, 2006). Dans la région ouest africaine, les protéines d'origine animale demeurent malgré les efforts d'accroissement de la production, difficilement accessibles à toutes les classes sociales à cause de leur coût élevé. Dans un tel contexte, les protéines d'origine végétale plus abordables, paraissent de bons substituts et les graines de légumineuses riches en protéines et qualifiées de « viande de pauvre » (Aykroyd et Doughty, 1982), constitueraient de bonnes sources et un excellent complément protéique pour les régimes à bases de céréales (Brady *et al.*, 1978; Besançon, 1978; Aubry et Boucrot, 1986; Osseyi *et al.*, 2003). Par conséquent, l'Afrique doit augmenter sa production en légumineuses pour avoir une autosuffisance alimentaire pour ce produit (Alebeek, 1996). La consommation des graines de légumineuses, sources végétales les plus riches en protéines et dont la valeur est complémentaire à celle des céréales, améliorerait l'équilibre de la ration alimentaire en Afrique, en outre, un régime alimentaire enrichi en légumineuse permettrait de combattre les effets de la malnutrition protéique notamment chez les groupes vulnérables que constituent les enfants et les femmes enceintes et allaitantes (Wilcke, 1977 ; Besançon, 1978 ; Alebeek, 1996). Des différentes légumineuses cultivées en Afrique, le niébé occupe une place capitale dans le système de culture compte tenu de sa résistance à la sécheresse ( Tarawali, *et al.*, 2002).

Au Togo comme dans bien d'autres pays de l'Afrique subsaharienne, le niébé est une légumineuse très sollicitée dans la consommation alimentaire (Osseyi *et al.*, 2003) si bien que même certaines variétés sont délaissées ces dernières années pour cause de leur long temps de culture et de la couleur prononcée de leurs téguments ( multicolore, rouge, noire ) alors qu'elles constituent une bonne source d'antioxydants bénéfiques pour le bien-être du consommateur (Akpavi *et al.*, 2008; Agbodan *et al.*, 2020). La production du niébé s'effectue dans les cinq régions économiques du Togo et la région des savanes représente 45% de la production nationale (Gumedzoe *et al.*, 1990).

Le niébé est transformé et consommé sous diverses formes au Togo. C'est ainsi qu'il peut être consommé cuit et associé à du gari et de l'huile de palme, de palmiste ou de coco (Véhi, Abobo) ou du riz (Ayimolou). Il est également transformé en farine pour la Production de beignets (Gaou, Akla, Atta) (Agazounon *et al.*, 2004) et de galettes (Alèlè, Timbani, Kpédi-gaou) qui sont de produits de véritable pâtisserie locale (Périssé et O'Cloo, 1962). Le mets le plus typique

du Sud Togo et auquel s'identifient certaines populations de la Région Maritime, est la purée connue localement sous le nom de « Adowè » en langue Fon (Sud-ouest). Cette purée de niébé est obtenue à partir d'un procédé de préparation assez élaborée comportant quelques opérations longues et pénibles. Bien que très populaire et potentiellement riche en nutriments, le poids et la place qu'occupent le niébé et son produit dérivé « Adowè » dans les habitudes alimentaires des populations togolaises sont très peu documentés. Ainsi, la présente étude est initiée dans l'optique de déterminer l'importance sociodémographique et culturelle de « Adowè » dans l'alimentation de la population de façon générale et spécifiquement ; de : (i) déterminer l'importance culturelle et l'ampleur de consommation du mets traditionnel au Togo, (ii) identifier les différentes étapes et les opérations unitaires du procédé traditionnel de production et (iii) ressortir les facteurs déterminants et écueils de la production et de la consommation.

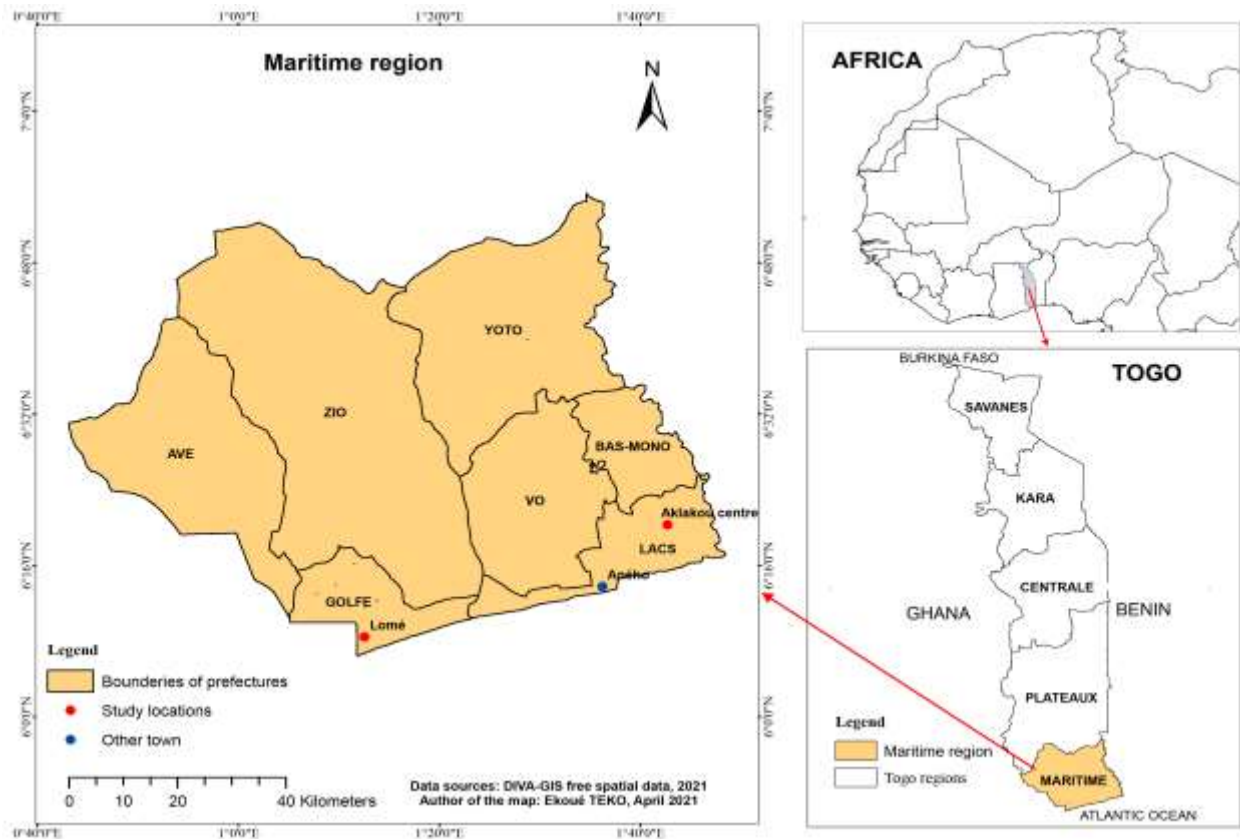
## **2.1 Méthodologie**

### **2.1.1 Cadre d'étude**

#### **2.1.1.1 Enquête socio-culturelle et étude de procédés de production de Adowè**

La purée Adowè est célèbre dans le Sud du Togo plus précisément dans le hameau d'Aklakou Fon-komé, un hameau d'une centaine d'habitants qui fait partie du village d'Aklakou centre dans le canton d'Aklakou qui à son tour, se situe dans la préfecture des Lacs. Il est situé à 15 km au Nord-Est de la ville d'Aného, dans la région Maritime au Togo (Figure 9). C'est un hameau qui regroupe l'ethnie «Fon». Il s'y déroule annuellement une fête traditionnelle dénommée « ADO-ZAN » dédiée à Adowè durant la première quinzaine du mois de Décembre. Notre visite d'étude s'est déroulée du 1er au 02 décembre 2017 dans cette localité, a pour but d'étudier les différentes techniques culinaires ancestrales de la production de Adowè dans un premier temps et ensuite comprendre l'influence socioculturelle et ethnique sur la consommation de Adowè dans la région et dans le pays.





**Figure 9 :** Carte indiquant les localités prospectées

Les enquêtes ont débuté par la sollicitation et l'obtention de l'accord du chef de hameau. Les femmes sont les principales actrices des techniques traditionnelles de préparation de Adowè. Celles qui ont accepté de participer aux enquêtes, ont été sélectionnées après avoir visité une dizaine de concessions. Elles ont été retenues après avoir obtenu d'elles un consentement libre et éclairé.

Le recueil des données a été basé sur des interrogations verbales et les investigations sur les procédés traditionnels de préparation de Adowè ont été effectuées lors de la célébration de la fête traditionnelle.

### **2.1.1.2 Enquête de pénétration de Adowè dans les pratiques culinaires et alimentaires**

La purée est la forme d'aliment la plus indiquée dans l'alimentation des enfants de moins de 5ans. La purée de niébé est un mets ancestral potentiellement riche en nutriments, qui tombe dans la déperdition dans notre société moderne. Le Togo fait partie des pays qui enregistre des cas de malnutrition infantile sévère et modérée et le service de pédiatrie (unité des prématurés) du centre hospitalier universitaire de référence dispose de ces cas d'hospitalisation. Nous avons souhaité effectuer notre enquête alimentaire dans ce centre hospitalier public d'une part à

cause d'une importante fréquentation des centres publics par les couches de populations les plus modestes et vulnérables. Ces personnes ayant en permanence des difficultés financières, n'ont pas accès à des alimentations équilibrées. Ce choix permet de sensibiliser à la consommation des produits locaux nutritifs (protéines végétales) et d'éveiller les consciences des parents des malades et du personnel de santé. Ce dernier a une place importante dans la lutte contre la malnutrition infantile. D'autre part, le service de pédiatrie est un service dans lequel la nutrition représente un volet majeur dans l'arsenal thérapeutique des patients.

Le service de pédiatrie (unité des prématurés) du CHU Sylvanus Olympio de Lomé nous a servi de cadre d'étude. C'est un service qui recueille toutes les couches sociales et de différentes ethnies du pays et d'ailleurs compte tenu de la rareté de cette unité dans les autres centres de santé public et privé du Togo. Cela constitue une base de diversité socioculturelle dans l'échantillon d'étude, par conséquent cet échantillon est assez représentatif de la population togolaise qui est une grande consommatrice de légumineuse comme la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne.

Ce centre est la plus grande formation sanitaire au Togo. C'est en effet un établissement de soins, de formation et de recherche. Il est l'un des derniers recours en soins de santé et représente l'un des centres de référence nationale par excellence. Il comporte de nombreux services et unités de soins.

L'unité des Prématurés fait partie du service de pédiatrie et fonctionne comme un service à part entière avec ses attributions dont les principales activités sont l'hospitalisation et soins (médicaux et nutritionnels) des prématurés et hypotrophes, le suivi médical et nutritionnel jusqu'à l'âge de 2 ans des nouveau-nés (des prématurés et des hypotrophes) et l'encadrement des stagiaires.

Il s'est agi d'une étude transversale descriptive et analytique qui s'est déroulée entre le 22 juin et le 23 août 2017. Au cours de cette période d'enquête 255 femmes ont été reçues par nous même dans le service, cependant suivant les critères d'inclusion, seules 154 ont été retenues. Cet effectif représente 60 % de l'ensemble personnes reçues dans ce service durant notre période d'enquête. Une fiche d'enquête anonyme a été élaborée à cet effet (annexe 1). Les enquêtées ont choisi librement de participer à l'étude et ont signé un acte de consentement (annexe 2). La Direction de l'hôpital ainsi que le Comité bioéthique du Togo ont également donné leurs accords. Les personnes incluses dans notre étude étaient de : sexe féminin, d'âge supérieur ou égal à 18 ans partageant un lien familial avec un enfant hospitalisé, être en couple

et ayant séjourné ou effectué une visite dans le service. Dans les critères d'exclusion : les sujets de sexe masculin, d'âge inférieur à 18 ans, ne partageant aucun lien familial avec un enfant hospitalisé et n'ayant pas séjournés ou effectués une visite dans le service des prématurés.

### **2.1.2 Analyses statistiques des données**

La saisie, le traitement et l'analyse de données ont été réalisés à l'aide du logiciel Epi Info-7. Les moyennes des variables qualitatives ont été comparées avec le test khi-deux. Le seuil de signification a été de  $p < 0,05$ .

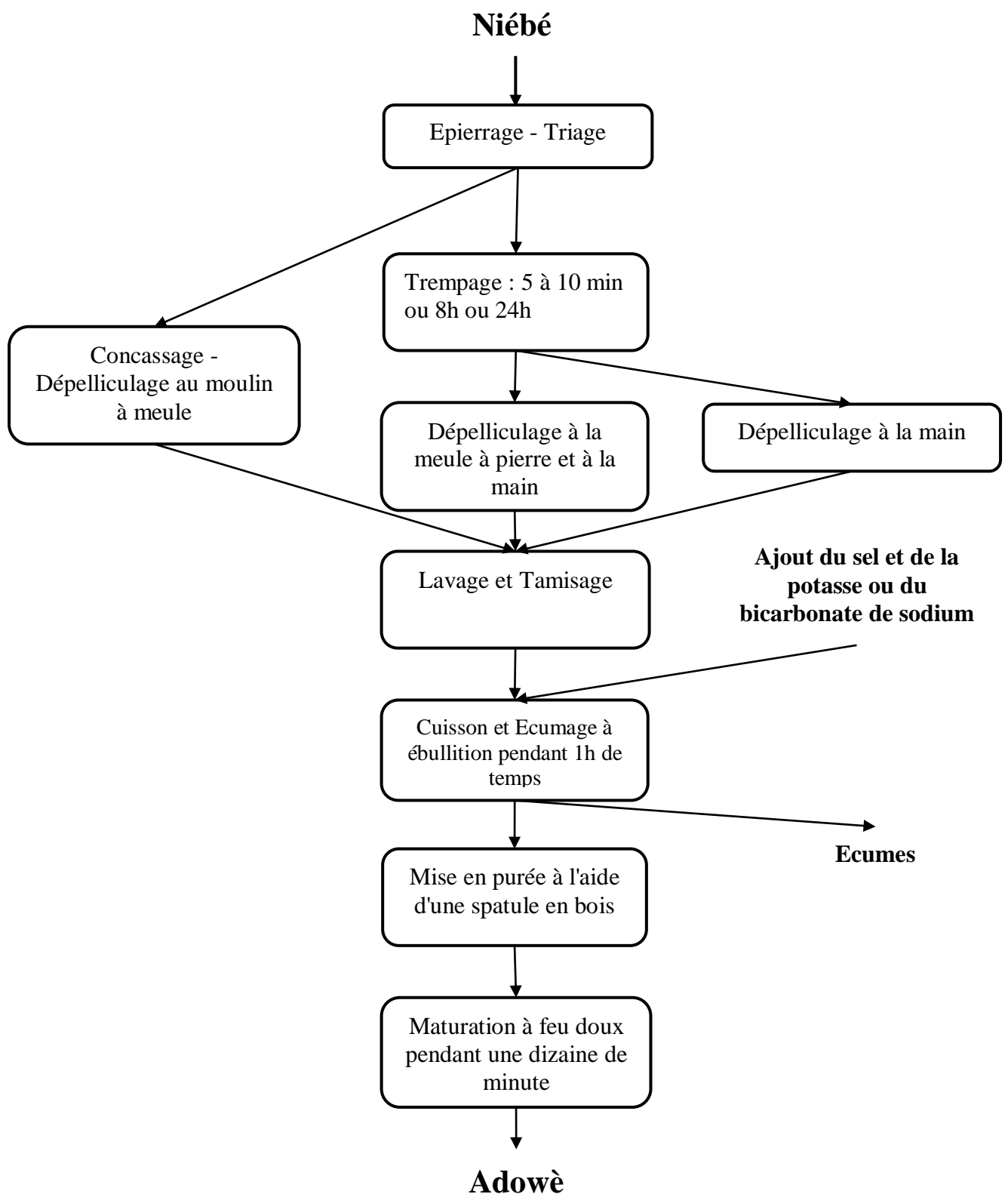
## **2.2 Résultats**

### **2.2.1 Données socio-culturelles et procédés de production de Adowè**

Les résultats des enquêtes ont montré que Adowè est un mets qui est produit, commercialisé et consommé dans toute la préfecture des Lacs et dans les préfectures voisines. Ce mets est diffusé par les ressortissants de la préfecture des Lacs et de la préfecture de Vo en particulier vers la capitale Lomé, dans toute la région Maritime et dans tout le pays. La fête de « ADO-ZAN » symbolisée par Adowè, est célébrée tous les ans dans la première semaine du mois de Décembre où tous les natifs du canton d'Aklakou se retrouvent en cette période festive au hameau d'Aklakou Fon-komé. Dans chaque concession du hameau, Adowè est préparé et sert de plat de partage pour le resserrement et la consolidation des liens sociaux et aussi en offrande pour rendre honneur et témoigner d'une reconnaissance aux ancêtres et divinités de la communauté lors d'une grande cérémonie de libation dirigée par le grand prêtre du village ou « ADO-HOUNON ».

#### **2.2.1.1 Procédés ancestraux de la production de Adowè**

Dans le village (hameau) d'Aklakou Fon-komé, il est constaté que le niébé d'usage pour la production de Adowè est de couleur beige afin d'obtenir un produit fini de couleur jaune crème souhaitée. Le procédé traditionnel de la transformation du niébé en Adowè comporte 5 à 6 étapes ou opérations unitaires (Figure 10). C'est un procédé long et pénible qui dure environ 1h30 min de temps pour la transformation de 500 grammes de niébé avec des variantes principalement au niveau de l'étape du dépelliculage des graines de niébé. L'équipement utilisé est rudimentaire, cependant certaines femmes productrices restent attachées à ce procédé à l'ancienne afin de demeurer fidèle à la technique ancestrale et aboutir à un produit conforme à l'originel.



**Figure 10** : Diagramme technologique de la transformation traditionnelle du niébé en purée Adowè

## 2.2.1.2 Différentes opérations de production de Adowè ancestral ou traditionnel

### 2.2.1.2.1 Triage et épierrage

Les graines de niébé subissent une opération de nettoyage pour les rendre propres et exemptes de tout corps étranger. Elles sont versées sur un tamis végétal, puis les graines endommagées, noires, perforées ou infectées et les matières étrangères comme des pierres sont séparées des graines saines. Après cette étape, il est obtenu un ensemble de graines propres à la consommation.

### 2.2.1.2.2 Trempage

Cette étape constitue le début proprement dit de la préparation de Adowè. Elle consiste à tremper les graines dans une quantité d'eau qui submerge les graines pendant un temps donné (de 15 min à toute une nuit) en vue de ramollir les pellicules et de faciliter le dépelliculage à la main. Plus le temps de trempage s'allonge, moins est la difficulté de dépelliculer les graines (Figure 11).



**Figure 11** : Photos montrant l'opération de trempage des graines de niébé

### 2.2.1.2.3 Dépelliculage

C'est l'étape la plus importante et pénible dans le processus. Il s'agit de débarrasser les graines de leurs pellicules. C'est une opération fastidieuse qui prend du temps proportionnellement à la quantité des graines. On distingue plusieurs méthodes de dépelliculage :

- ◁ **Concassage - dépelliculage par moulin à meule** : les graines sont introduites dans un moulin à meule qui les fragmente par mouture partielle (Figure 12). Ainsi après lavage

et tamisage, on obtient les graines brisées et dépelliculées. Il est à noter que pour cette opération les graines ne sont plus trempées au préalable. C'est un procédé qui n'est couramment pas utilisé.



**Figure 12** : Photo montrant les graines de niébé dépelliculées au moulin à meule

- ◁ **Dépelliculage par meule à pierre** : les graines trempées sont mises sur une meule de pierre pour être dépelliculée grâce à la force de frottement exercée par la meule à travers la force tangentielle de l'opératrice (Figure 13). C'est le procédé le plus utilisé.



**Figure 13** : Photo montrant l'opération de dépelliculage sur une meule à pierre

- ◁ **Dépelliculage à la main** : c'est une opération qui consiste à triturer entre les mains les graines trempées pendant toute une nuit ou 24 h jusqu'à les débarrasser de leurs pellicules (Figure 14, 15, 16).



**Figure 14** : Photos montrant l'opération de dépelliculage à la main



**Figure 15** : Photo montrant les graines de niébé dépelliculées à la main ou à la meule de pierre



**Figure 16** : Photos des pellicules des graines après l'opération de dépelliculage

Il y existe d'autres méthodes de dépelliculage comme celles au mortier et pilon qui sont moins utilisées.

#### **2.2.1.2.4 Lavage - tamisage**

Le produit concassé est lavé et tamisé (Figure 17) à l'aide d'un tamis végétal ou d'une passoire pour donner des graines concassées, dépelliculées et sans pellicules.



**Figure 17** : Photos montrant l'opération de lavage après dépelliculage (B) et de tamisage (A)



#### 2.2.1.2.5 Opération de cuisson et d'écumage

Après la longue opération de dépelliculage, les graines dépelliculées subissent une longue cuisson d'une heure de temps au minimum. Cette cuisson se fait sur un feu vif de bois ou de charbon de bois, dans une marmite contenant les graines dépelliculées dans de l'eau à laquelle on a ajouté du sel de cuisine (Figure 18 A), et du sel gemme ou du bicarbonate de soude (Figure 18-B). Au cours de l'ébullition, il se forme à la surface des écumes qui sont enlevées (Figures 19) au fur et à mesure jusqu'à l'attendrissement total des graines.



**Figure 18** : Photos montrant l'opération de cuisson des graines de niébé dépelliculées, ajout du sel de cuisine (A) et du sel gemme ou de la potasse alimentaire (B)



**Figure 19** : Photos montrant l'opération d'écumage à l'ébullition (A) et l'écume (B)

#### 2.2.1.2.6 Opération de mise en purée

Une fois l'attendrissement total des graines constaté, il est introduit une spatule pour les réduire en purée par écrasement contre la paroi de la marmite (Figures 20, 21).



**Figure 20** : Photos montrant la fin de l'opération de cuisson des graines (A) et de l'optimisation du ramollissement des graines (B)



**Figure 21** : Photos montrant l'opération de mise en purée des graines cuites

#### 2.2.1.2.7 Opération de maturation

Cette opération consiste à diminuer le feu de bois ou de charbon et à laisser sécher l'eau contenue dans la purée (Figure 22) pendant quelques minutes pour obtenir à la fin un Adowè plus ou moins ferme et parfumé (Figure 23).



**Figure 22** : Photos montrant l'opération de maturation de la purée



**Figure 23** : Photos montrant le mets « Adowè » prêt à la consommation

### **2.2.1.3 Liste des équipements utilisés dans le process de production**

Le tableau 11 résume les ingrédients, équipements et combustibles utilisés au cours de la production de Adowè traditionnel.

**Tableau 11** : Liste des ingrédients et des équipements utilisés au cours de la production de Adowè traditionnel

<b>Matière première Agricole</b>	<b>Ingrédients</b>	<b>Equipements de production</b>
Ø Niébé beige	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Sel gemme ou potasse alimentaire ou bicarbonate de sodium</li> <li>Ø Sel de cuisine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø Les bassines de petite et moyenne capacités</li> <li>Ø Une passoire</li> <li>Ø Un tamis végétal</li> <li>Ø Une spatule</li> <li>Ø Une marmite</li> <li>Ø Un fourneau</li> <li>Ø Une meule à pierre</li> <li>Ø Un moulin à meule</li> <li>Ø Fagot de bois</li> <li>Ø Charbon de bois</li> </ul>

## **2.2.2 Pénétration de Adowè dans les pratiques culinaires et alimentaires**

### **2.2.2.1 Données caractéristiques des enquêtes**

Le tableau 12 représente la répartition des sujets en fonction des données sociodémographiques, ainsi la moyenne d'âge est de  $32 \pm 7$  ans avec un minimum de 20 ans et un maximum de 63 ans. La tranche d'âge des moins de 30 ans est la plus représentée.

La répartition des sujets en fonction des groupes ethniques montre que, près de la moitié des sujets sont originaires des groupes ethniques des régions maritimes et des plateaux et en outre plus de 75 % des sujets ont au plus 3 enfants.

La répartition des sujets en fonction de la taille du ménage montre que près de 60 % des sujets ont des ménages de 4 à 6 personnes. Les deux extrêmes sont des ménages de 3 et de 12 représentants respectivement 20 % et près de 1 %.

Selon la répartition des sujets en fonction de leurs niveaux d'étude, 40 % ont un niveau secondaire, 21 % ont un niveau primaire et 11 % n'ont aucun niveau d'étude.

### **2.2.2.2 Données caractéristiques des partenaires (époux) des enquêtées**

Selon la répartition des partenaires des enquêtées en fonction de leurs niveaux d'étude, 40 % ont un niveau secondaire, 10 % ont un niveau primaire et 2 % n'ont aucun niveau d'étude. Les niveaux d'étude sont approximatifs de ceux des sujets enquêtés.

### **2.2.2.3 Données caractéristiques de la situation économique des enquêtées et leurs partenaires**

Selon la répartition des sujets en fonction de leurs activités professionnelles, près de 90 % des sujets ont des activités professionnelles à revenu instable et bas contre 70 % pour leurs partenaires.

**Tableau 12** : Répartition des sujets suivant les données sociodémographiques

<b>Variables</b>	<b>Modalités</b>	<b>Pourcentages (%)</b>
<b>Age (ans)</b>	< 30	42,2
	30 - < 35	29,2
	35 - < 40	15,6
	≥ 40	13
<b>Groupes ethniques et ressortissants des Pays voisins</b>	Ewé-Watchi-Adja-Fon	44,16
	Kabyè-Lamba-Losso	20,13
	Mina-Guin	6,49
	Ifè-Ana-Akposso	5,19
	Kotokoli-Tchamba	5,19
	Bénin	4,55
	Moba-Gourma	2,6
	Nigéria	2,6
	Bassar-Konkomba	1,95
	Niger	1,95
	Tchokossi-Gangan	1,95
Autres groupes ethniques	3,2	
<b>Statut matrimonial</b>	Union libre	80,52
	Mariage monogamie	14,93
	Mariage polygamie	4,55
<b>Parité</b>	2-3	40,26
	Primipare	35,71
	Parité > 3	24,03
<b>Nombre d'enfants</b>	1	35,71
	2	25,97
	3	14,29
	4	14,29
	5-7	9,74

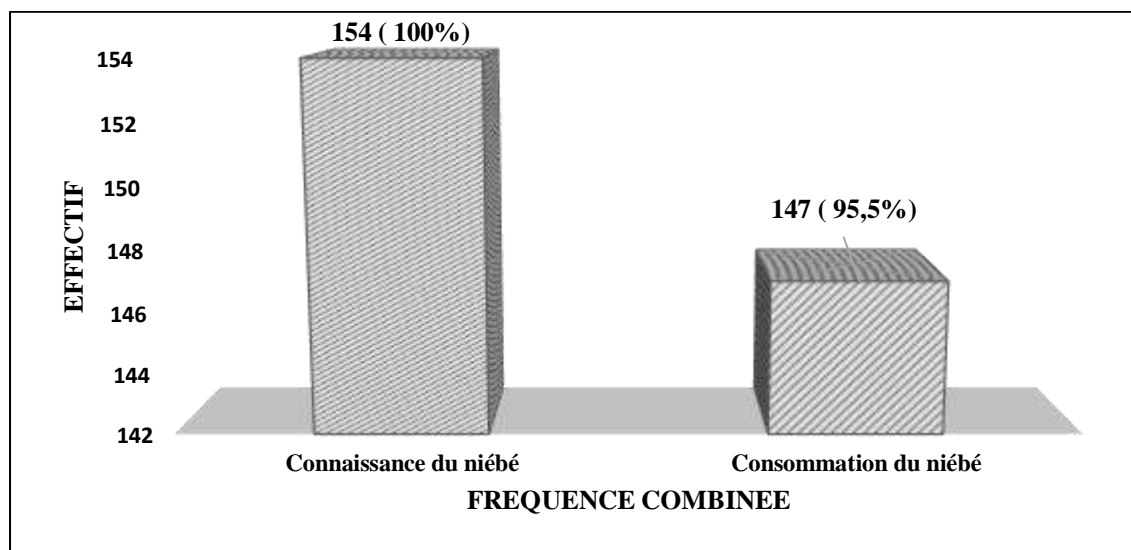
**Tableau 13** : Répartition des sujets suivant les données sociodémographiques (suite)

<b>Variables</b>	<b>Modalités</b>	<b>Pourcentages (%)</b>
<b>Taille du ménage</b>	3	20,78
	4	25,32
	5	16,23
	6	18,83
	7	9,74
	8	4,55
	9	1,95
	10	1,95
	12	0,65
<b>Niveau d'instruction du partenaire</b>	Supérieur	38,31
	Secondaire 2 <sup>ème</sup> cycle	25,32
	Secondaire 1 <sup>er</sup> cycle	24,68
	Primaire	9,74
	Aucun	1,95
<b>Niveau d'instruction de la femme</b>	Supérieur	15,58
	Secondaire 2 <sup>ème</sup> Cycle	12,99
	Secondaire 1 <sup>er</sup> Cycle	38,31
	Primaire	21,43
	Aucun	11,69
<b>Profession du partenaire</b>	Fonctionnaire	27,92
	Ouvrier	24,03
	Artisan	21,43
	Commerçant	16,23
	Conducteur de taxi-moto	4,55
	Chômeur	3,9
	Autres	1,3
	Profession religieuse	0,65
<b>Profession de la femme</b>	Revendeuse	36,36
	Artisane	29,87
	Ménagère	14,29
	Fonctionnaire	11,04
	Commerçante	4,55
	Chômeur	2,6
	Autres	1,3

## 2.2.2.4 Données techniques sur l'emploi du niébé

### 2.2.2.4.1 Place de la consommation du niébé chez les enquêtées

La totalité des sujets enquêtés ont connaissance du niébé et plus de 95 % consomment le niébé simplement sous la forme cuite en entier à l'eau (Figure 24).

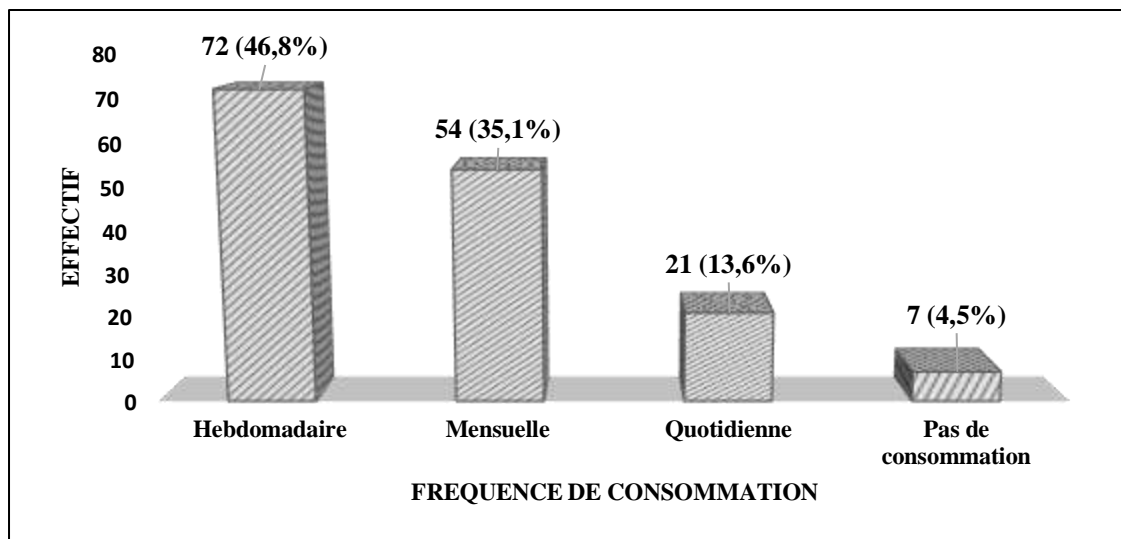


**Figure 24** : Répartition des sujets en fonction de la fréquence combinée selon la connaissance et la consommation du niébé

### 2.2.2.4.2 Fréquence de consommation du niébé

La figure 25 représente la répartition des sujets en fonction de la fréquence de consommation du niébé en entier. Plus de 46 % des sujets ont consommé au moins une fois par semaine le niébé.





**Figure 25** : Répartition des sujets en fonction de la fréquence de consommation du niébé

Un peu plus de 4 % des sujets enquêtés ne consomment pas le niébé à cause des effets de flatulence et / ou de ballonnement après consommation.

## 2.2.2.5 Données techniques sur Adowè

### 2.2.2.5.1 Aspect général sur la connaissance et la consommation de Adowè

Sur les 154 sujets enquêtés, 136 connaissent Adowè soit un pourcentage de 88,31 % et le nombre des sujets qui en consomment s'élève à 111 ; soit 72,08 % des cas. 51 des sujets font consommer Adowè aux enfants d'au moins 8 mois d'âge présents dans leur ménage, soit 33,12 % des cas. 54 sujets ont des connaissances culinaires sur Adowè, soit 35,06 % tandis que 28 seulement, soit 18,18 % ont déjà eu à le préparer.

**Tableau 14** : Répartition des sujets selon la connaissance et la fréquence de consommation de Adowè

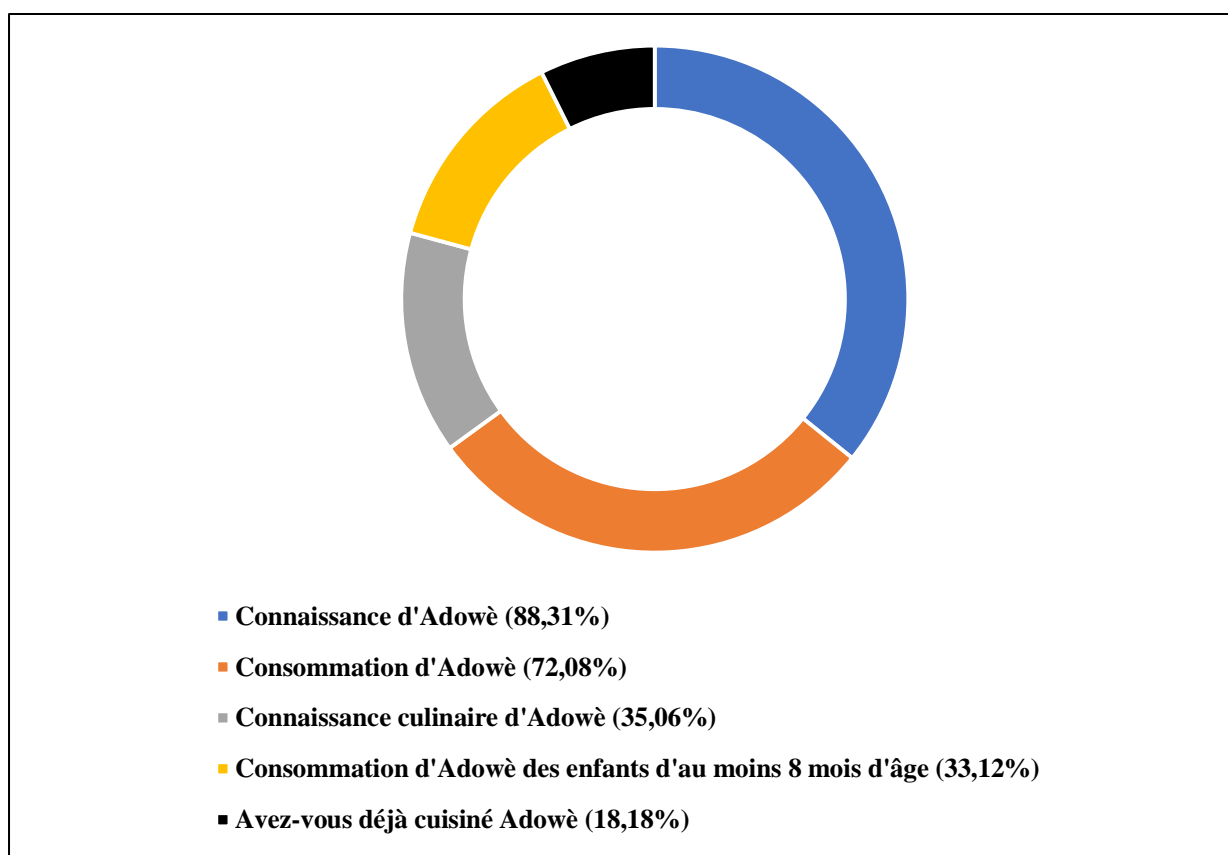
<b>Variables</b>	<b>Modalités</b>	<b>Pourcentages (%)</b>
Matière première de Adowè	Niébé cuit à l'eau (vèyi)	73,38
	Ne connaît pas Adowè	11,69
	Voandzou	10,39
	Ne connaît pas	4,55
Fréquence de consommation de Adowè	Annuelle	40,91
	Jamais	27,92
	Mensuelle	9,74
	Semestrielle	9,09
	Hebdomadaire	6,49
	Trimestrielle	5,84
Raison de la non consommation de Adowè	Indisponibilité	37,01
	Non concerné	22,08
	Consomme du niébé cuit à l'eau (vèyi)	17,53
	N'aime pas	11,69
	Ne connaît pas	11,69
Raisons de la faible consommation	Cherté	42,21
	Ne consomme pas	27,92
	Consommation trimestrielle et semestrielle	12,99
	Consommation quotidienne et hebdomadaire	6,49
	Difficile à cuisiner	3,90
	Absence de connaissance culinaire	2,60
	Consommation annuelle	2,60
	Préfère niébé cuit à l'eau (vèyi)	1,30

**Tableau 15** : Répartition des sujets selon la connaissance et la fréquence de consommation de Adowè (suite)

<b>Variables</b>	<b>Modalités</b>	<b>Pourcentages (%)</b>
Fréquence de consommation de Adowè chez l'enfant d'au moins 8 mois d'âge	Jamais	66,88
	Hebdomadaire	9,09
	Mensuelle	9,09
	Semestrielle	7,79
	Trimestrielle	3,25
	Annuelle	2,60
	Quotidienne	1,30
Raison de la non consommation de Adowè chez l'enfant d'au moins 8 mois d'âge	Consomme niébé cuit à l'eau (vèyi)	38,31
	Non concerné	23,38
	Indisponibilité	16,23
	N'aime pas	11,04
	Ne connaît pas	11,04
Raison de la faible consommation de Adowè chez l'enfant d'au moins 8 mois d'âge	Ne consomme pas	65,58
	Consommation trimestrielle et semestrielle	11,04
	Consommation quotidienne et hebdomadaire	10,39
	Cherté	7,79
	Préfère niébé cuit à l'eau (vèyi)	2,60
	Consommation annuelle	1,95
	Absence de connaissance culinaire	0,65
Procédé de préparation de Adowè	Non concerné	64,93
	Dépelliculage à la main	33,77
	Dépelliculage par moulin	1,30
Fréquence de préparation de Adowè	Jamais	81,82
	Trimestrielle	5,84
	Semestrielle	4,55
	Hebdomadaire	3,90
	Annuelle	3,25
	Mensuelle	0,65
Raison de la non préparation de Adowè	Pas de connaissance culinaire	43,51
	Difficile à préparer	29,87
	Non connu dans la culture	18,18
	Non concerné	4,55
	Préfère le niébé cuit à l'eau (vèyi)	3,90

### 2.2.2.5.2 Etude de la connaissance et de la consommation de Adowè

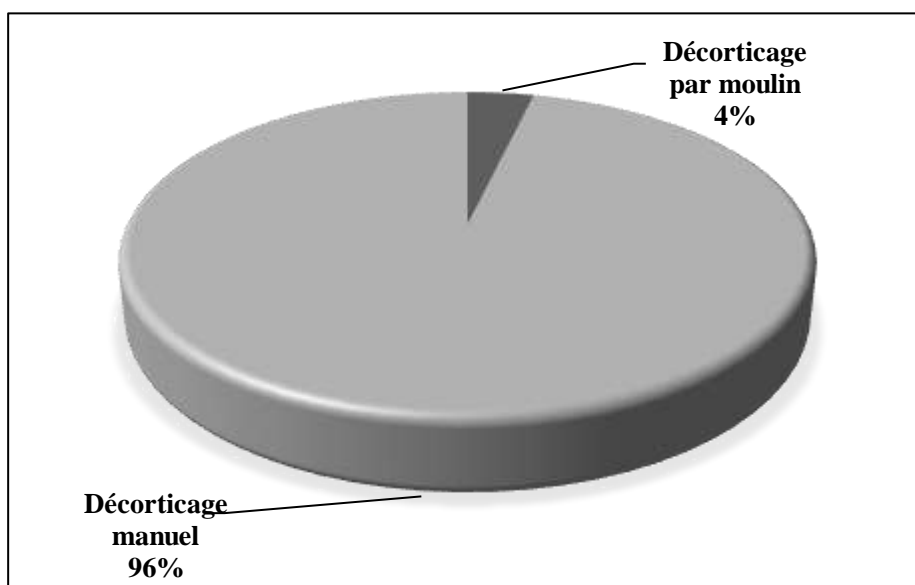
La figure 26 représente les pourcentages des sujets qui ont répondu aux questions sur la connaissance et la consommation de Adowè. Ainsi concernant la connaissance de Adowè, 136 sujets sur 154 soit un taux de 88,31 % ont répondu favorablement. Il en est de même pour les autres questions où il y a 111 sujets sur 154 soit un taux de 72,08 % pour la consommation ; 54 sujets sur 154 savent comment préparer Adowè ; 51 sujets sur 154 soit un taux de 33,12 % donnent Adowè, à manger à leurs enfants d'au moins 8 mois d'âge et seulement 28 sujets sur 154 soit 18,18 % ont déjà cuisiné Adowè.



**Figure 26** : Représentation des fréquences combinées de la connaissance et de la consommation de Adowè

### 2.2.2.5.3 Etude de différents procédés de production de Adowè

La question a été posée uniquement sur l'opération de dépelliculage parce que c'est cette étape qui marque la différence des procédés. Parmi les 54 sujets sur 154 qui ont la connaissance du procédé de préparation de Adowè, 52 sujets pratiquent le dépelliculage manuel et le dépelliculage par moulin pour les 2 autres, soit respectivement des taux de 96 % et 4 % (Figure 27).



**Figure 27** : Répartition de différents types de dépelliculage des graines de niébé avant préparation de Adowè

## 2.2.3 Etude analytique

### 2.2.3.1 Répartition suivant les régions et la connaissance de Adowè

Le tableau 16 représente la répartition de la connaissance de Adowè en fonction des origines des enquêtés sachant que le Togo compte 5 régions (Figure 9) qui sont du Nord au Sud : région de la Savane, région de la Kara, région Centrale, région des Plateaux et région Maritime. Sur les sujets enquêtés, 136 soit 88,31 % ont connaissance, contre 18 sujets soit 11,69 % et parmi ceux qui ont connaissances de Adowè, 77 (56,61 %) sont de la région Maritime, 43 (31,61 %) sont issus des quatre autres régions du pays et 16 (11,76 %) sont des étrangers issus de la sous-régions ouest africaines.

**Tableau 16** : Répartition de la connaissance de Adowè en fonction des origines des sujets

Origines	Connaissance de Adowè	
	Oui	Non
	N = 136 n (%)	N = 18 n (%)
Maritime	77 (56,61)	1 (5,55)
Autres regions du Togo	43 (31,61)	14 (77,77)
Etrangers	16 (11,76)	3 (16,66)

### 2.2.3.2 Consommation du niébé et de Adowè selon les tranches d'âge

Le tableau 17 présente la répartition de la consommation de niébé et de Adowè en fonction de l'âge. Un âge inférieur à 30 ans était retrouvé chez 60,64 % des sujets non-consommateurs de Adowè.

**Tableau 17** : Répartition de la consommation de niébé et de Adowè en fonction de l'âge des sujets

Age	Consommation du Niébé		Consommation de Adowè	
	Oui	Non	Oui	Non
	N = 147 n (%)	N = 7 n (%)	N = 111 n (%)	N = 43 n (%)
<30 ans	61 (41,49)	4 (57,14)	39 (35,14)	26 (60,46)
30 - 34 ans	44 (29,93)	1 (14,28)	33 (29,72)	12 (27,90)
35 - 39 ans	23 (15,64)	1 (14,28)	20 (18,01)	4 (9,30)
≥ 40 ans	19 (12,93)	1 (14,28)	19 (17,11)	1 (2,32)
		<b>p = 0,8098*</b>		<b>p = 0,0094</b>

\*p non significative (p < 0,05)

### 2.2.3.3 Consommation du niébé et de Adowè selon les régions

Le tableau 18 représente la répartition de la consommation de niébé et de Adowè en fonction des régions. La région maritime est l'origine de 63,97 % des sujets consommateurs de Adowè. Le Togo compte 5 régions (Figure 9) à savoir du Nord vers le Sud : région de la Savane, région de la Kara, région Centrale, région des Plateaux et région Maritime.

Tableau 18 : Répartition de la consommation de niébé et de Adowè en fonction des régions d'origine des sujets

Region d'origine	Consommation du Niébé		Consommation de Adowè	
	Oui N = 147 n (%)	Non N = 7 n (%)	Oui N = 111 n (%)	Non N = 43 n (%)
Maritime	76 (51,71)	2 (28,57)	71 (63,97)	7 (16,27)
Autres régions	54 (36,73)	3 (42,86)	30 (27,02)	27 (62,79)
Etrangers	17 (11,56)	2 (28,57)	10 (9,01)	9 (20,93)
	<b>p = 0,3104*</b>		<b>p = 0,000</b>	

\*p non significative (p < 0,05)

## 2.3 Discussion

### 2.3.1 Profil socio-culturel, traditionnel et méthode de production de Adowè

La purée de niébé dépelliculé (Adowè) a une origine socio-culturelle et traditionnelle du Sud-Est Togo de l'ethnie Fon localisée dans un hameau du village d'Aklakou. Cette ethnie célèbre tous les ans une fête traditionnelle dénommée « ADO-ZAN » au cours de laquelle la purée est servie comme offrande aux divinités. Cette célébration a beaucoup pesé dans la consommation de cet aliment dans la région, tout comme dans la plupart des pays d'Afrique et du monde où les croyances traditionnelles pèsent encore sur le choix alimentaire des populations. L'origine togolaise de Adowè est entrée en contradiction avec celle révélée par Madodé *et al.* (2011) qui ont affirmé que l'origine de Adowè provient de l'ethnie Mina du Bénin. Cette contradiction vient du fait que ces deux ethnies se côtoient depuis des générations et que la vulgarisation de Adowè est faite par les Mina et les Watchi, deux ethnies partageant les mêmes espaces que les Fon du Togo et du Benin. Les pratiques et les croyances alimentaires viennent des appropriations des mets par les us et coutumes des populations. Ceci complète les travaux de Périssé et O'Cloo (1962) qui ont relevé une différence considérable entre les types

d'alimentation et les habitudes alimentaires des populations du Togo selon les groupes ethniques.

Selon les croyances, cette purée est d'une composition nutritionnelle et énergétique remarquable qui a permis aux ancêtres de tenir sur les champs de batailles et dans les périodes de disette car elle constituait leur seule source d'alimentation. En l'honneur des ancêtres, ce mets est célébré et sert d'offrande aux divinités tous les ans ; ainsi tous les ressortissants de cette localité consomment régulièrement Adowè en dehors des jours des fêtes traditionnelles. Les résultats des travaux de Rakotosamimanana *et al.* (2014) ont abouti aux mêmes constats sur l'aspect des croyances nutritionnelles et les habitudes alimentaires à Madagascar. Au regard des aspects rituels, Garine (1996) a trouvé les mêmes résultats dans les sociétés du Nord Cameroun.

Le processus de préparation de cette purée est long et éprouvant compte tenu des différentes opérations qui se suivent du début à la fin ; mettant un frein à sa consommation régulière et réduit son accès commode. Comme l'a rapporté Tangtrakul (2010), dans ses études.

En comparaison avec le diagramme technologique de transformation du niébé en beignets « Atta » décrit dans les études de Agazounon *et al.*, (2004) ; les opérations unitaires du début jusqu'au dépelliculage demeurent les mêmes. Après le dépelliculage des graines, ces derniers sont directement mises en cuisson dans le cas de Adowè alors qu'elles sont moulues puis battus à la main ou à la palette ; et assaisonné dans le cas de « Atta ». Concernant Adowè, lorsque les graines dépelliculées sont complètement cuites, elles sont réduites en purée sur un feu doux à l'aide d'une spatule et ensuite laissées à mijoter sur le feu pendant quelques minutes pour obtenir une purée légèrement ferme (Adowè). Dans le cas de « Atta », la pâte battue et assaisonnée est façonnée en petites boules directement frites dans de l'huile. Le temps de production de « Atta » est relativement réduit par rapport à la production de Adowè.

Le procédé traditionnel de Production de Adowè que nous avons observé dans le hameau au cours de notre enquête se rapporte à celui décrit par Madodé *et al.* (2011).

## **2.3.2 Connaissance et consommation de Adowè dans les habitudes alimentaires des sujets enquêtés**

### **2.3.2.1 Caractéristiques générales des sujets enquêtés**

Les 154 femmes sondées ont un âge moyen de  $32 \pm 7$  ans dans un panel de 20 à 63 ans. La tranche d'âge des moins 30 ans est la plus représentée. Dénotant le caractère jeune de nos populations à l'instar des pays en développements, et le fait que ce sont des femmes en âge de



procréer auraient été plus ou moins touchées par la maternité. Le caractère jeune des femmes sondées se traduit par le nombre d'enfant par femme ne dépasse pas 3. Ces résultats sont à peu près conformes aux données disponibles sur la fécondité des femmes au Togo (MST/UNFPA, 2014) qui rapporte le nombre d'enfants par jeune femme n'excédant pas trois.

La répartition des sujets sondés et leurs conjoints selon le niveau d'instruction qui donne des résultats différents des statistiques nationales. Ainsi pour les sujets enquêtés : on enregistre les catégories suivantes : analphabètes (11,69 % versus 32 %), niveau scolaire primaire (21,43 % versus 34 %), niveau scolaire secondaire (51,30 % versus 31 %) et niveau scolaire supérieur (15,58 % versus 3 %). Concernant les conjoints, les résultats donnent : analphabètes (1,95 % versus 11 %), niveau scolaire primaire (9,74 % versus 27 %), niveau scolaire secondaire (50 % versus 53 %) et niveau scolaire supérieur (38,31 % versus 9 %) (MPDAT/MST/ICFI, 2015). Cette différence est due à la taille de notre échantillon d'étude qui est très inférieure par rapport à la représentation nationale.

Le niveau de vie des ménages est limité compte tenu des activités professionnelles à faibles revenus qu'exercent plus de 80 % des sujets sondés ainsi que leurs partenaires.

### **2.3.2.2 Degré de connaissance et de consommation de niébé dans les ménages**

Le niébé est la matière première de Adowè et 95 % des sujets sondés en consomment souvent dont 46 % toutes les semaines. Ces résultats sont légèrement inférieurs à ceux de Akissoe *et al.* (2019) au Bénin avec une consommation de niébé de 98 % avec 76 % de consommation hebdomadaire sous forme de ragoût (mélange de niébé bouilli avec une friture accompagné de semoule sec de manioc). Une forte consommation de niébé a également été rapportée dans une étude réalisée au Bénin par Madodé *et al.* (2011). Au Burkina Faso, les travaux de Hamba-Ba *et al.* (2017) ont rapporté une consommation de 99% du niébé sous forme de ragoût et de plats associés à des céréales.

Le dicton selon lequel : « la viande du pauvre est le haricot » traduit bien la facile accessibilité des graines de niébé à des couches sociales modestes comme celles des sujets sondés. Cela concorde avec l'étude réalisée par Life Sciences Research Office (1995) en Amérique démontrant que les quantités de niébé consommées augmentent de manière inversement proportionnelle aux revenus. D'autres études ont montré que la consommation des légumineuses est plus élevée dans les zones rurales que dans les zones urbaines en raison de la

faible disponibilité de protéines d'origine animale dont le prix reste élevé (Schneider, 2002 ; Leterme et Carmenza Muñoz, 2002).

A l'instar des légumineuses, le niébé apparaît comme la légumineuse régulièrement consommée dans les ménages dans les pays d'Afrique subsaharienne. Selon de nombreuses études, les mets issus du mélange de légumineuses et céréales ou à base de légumineuse tout simplement ont une valeur nutritionnelle améliorée par rapport aux aliments à base de céréales et de tubercules. Les travaux de Adriana et Crosby (2016) ont démontré que la bouillie infantile à base du mélange « céréale – légumineuse » a plus de 2 à 3 fois de protéines que la bouillie à base de céréales.

Les légumineuses, sont riches en acides aminés tryptophane et lysine, qui sont déficients dans les céréales (Giami, 2005 ; Duranti, 2006). Cette richesse donne aux légumineuses leur importance dans l'alimentation des populations dont les repas sont dominés par les céréales. Au Togo, l'alimentation de complément des enfants en bas âge, est en majorité faite de la bouillie de céréales, et l'idée d'une alternative à base de purée de niébé serait appropriée et bénéfique dans la lutte contre la dénutrition car au Togo, 28 % des enfants de moins de cinq ans souffrent de malnutrition chronique ou de retard de croissance, 16 % sont en insuffisance pondérale et 6,5 % souffrent de malnutrition aiguë ou émaciation (MPDAT/MST/ICFI, 2015).

Bien qu'il présente un avantage nutritif, le niébé est également source de troubles digestifs, de flatulence et de ballonnement pour certains consommateurs. Ainsi 4,5 % des sujets sondés avancent ces raisons pour expliquer leur refus de consommation de niébé. De même, les travaux de Hama-Ba *et al.* (2017) révèlent que 20 % des consommateurs burkinabés de niébé, évoquent ces mêmes raisons qui rendent irrégulière leur consommation de niébé. Pour 40 % des consommateurs béninois de niébé, des troubles digestifs après ingestion, sont invoqués (Akissoé *et al.*, 2019).

Les oligosaccharides sont les principaux facteurs responsables des troubles digestifs (Carlsson *et al.*, 1992). En effet, l'organisme humain ne produit pas au niveau de la bordure en brosse de l'intestin grêle, d'alpha galactosidase, l'enzyme responsable de la dégradation de ces oligosaccharides (la raffinose, le stachyose et le verbascose). Par conséquent, ils sont métabolisés par l'intermédiaire de la flore intestinale dans le colon en entraînant la production d'un cocktail de gaz carbonique, d'hydrogène et de méthane qui se traduit par des troubles digestifs (Cristofaro *et al.*, 1974 ; Price *et al.*, 1988).

A la lumière de ce qui précède, il est nécessaire de valoriser la purée de Adowè par un procédé de transformation qui permet d'améliorer sa digestion par les consommateurs. C'est dans cette même perspective que Coffigniez *et al.* (2018) ont optimisé le procédé de trempage-cuisson du niébé pour diminuer de 85 % les alpha-galactosides. Sampath *et al.* (2008) ont démontré l'effet réducteur de la germination des graines avant cuisson sur les oligosaccharides responsable de flatulence. D'autres études ont rapporté également une inactivation de ces facteurs au cours de la cuisson des légumineuses (Ramírez-Cárdenas *et al.*, 2010, Wang *et al.*, 2010).

### **2.3.2.3 Degré de connaissance et consommation de Adowè dans les ménages**

Il ressort des investigations que la purée Adowè est bien connue et consommée au sein de la population d'étude à plus de 70 %. Cependant la fréquence de consommation est faible avec une consommation hebdomadaire de 6,49 % et mensuelle de 9,74 %. Cette consommation hebdomadaire s'élève à un peu plus de 20 % dans l'étude réalisée par Akissoé *et al.* (2019) au Bénin. Deux facteurs principaux expliquent cette faible consommation au Togo : d'une part l'indisponibilité de cette purée, et de l'autre sa cherté auprès des revendeuses de nourritures de rue qui est principalement due à la pénibilité du processus de production. Nos résultats sont confirmés par les travaux de Pinstруп-Andersen, (1985) et de Drewnowski, (2009) qui rapportent que le prix des mets est le premier critère de choix alimentaire des foyers à faibles revenus. D'autres travaux ont validé également que le prix joue un rôle important dans le comportement d'achat des aliments (Rozin, 1996 ; Glanz, *et al.*, 1998 ; Ritson et Petrovici, 2001 ; Blanck *et al.*, 2009). Il est constaté que l'accès pratique des aliments dans les zones d'habitation et la proximité des lieux d'achat garantissent leurs disponibilités et par conséquent la préférence dans les comportements alimentaires. Ainsi, Lyman (1989) estime que la facilité d'accès à un aliment impacte fortement sa fréquence de consommation plus que son attrait culinaire. L'indisponibilité et la cherté de Adowè auprès des revendeuses de nourritures de rue sont liés d'une part, au fait que la technique de production de Adowè n'est pas très connue et de surcroît demeure très contraignante et ; d'autre part Adowè constitue un mets revendu dans les rues que par un petit groupe de femmes des villages d'Aklakou, d'Anfoin et de Vogan qui ont migré à la capitale Lomé (Togo). Ces revendeuses détiennent le monopole du commerce de ce mets. Madodé *et al.* (2011) démontrent dans leurs études que cette faible consommation de Adowè au Bénin est liée au fait Adowè constitue l'un des plats associés à certaines régions et à certains groupes socioculturels.

Bien que Adowè soit un mets protéino-calorique et présentant une texture adaptée à l'alimentation infantile, sa consommation reste faible auprès des enfants togolais âgés de moins de 5 ans. Notre étude a révélé une fréquence de consommation quotidienne et hebdomadaire de Adowè de 1,3 % et 9,09 % respectivement, par les enfants de 8 mois et plus. Ces résultats traduisent l'une des causes de sous-alimentation et de dénutrition infantile dans ce pays en voie de développement où il n'y a que de la bouillie de céréales comme seule alternative à l'alimentation de complément et de croissance pour les enfants de moins d'un an et de moins de cinq ans. Les travaux de Behrman, (1996) et Shrimpton *et al.*, (2001) confirment que toute forme de retard de croissance chez les enfants peut entraîner un déficit physique et cognitif irréversible. Les enfants sont en situation de vulnérabilité face aux maladies liées aux carences et aux maladies respiratoires, d'où la nécessité de porter une attention particulière à ce problème. L'alimentation des enfants est fortement influencée par les préférences alimentaires des parents et surtout de la mère ; qui se traduit par l'usage régulier de l'aliment préféré (Cooke et Wardle, 2005). En effet des études rapportent que les prémisses de la préférence alimentaire se fait dès la vie néonatale ; par l'intermédiaire du liquide amniotique (Schaal *et al.*, 2000) et se poursuit après la naissance ; à travers le lait maternel (Mennella et Beauchamp, 1996) ainsi que par l'introduction des aliments de complément.

Selon notre questionnaire, la faible fréquence de consommation ou de non-consommation de Adowè par les enfants de moins de cinq ans d'âge est directement liée à celle de leurs mères. Randrianasolo, (2013) confirme dans ses travaux ; une faible fréquence de consommation des légumineuses par des enfants de moins de 3 ans sous forme bouillie, broyée, écrasée ou dépelliculé à Madagascar. Dans d'autres cas les parents jugent fastidieux et long le procédé de préparation pour les enfants et par conséquent ces derniers consomment les légumineuses sous la même forme que les adultes : haricot trempé et bouilli puis mélangé avec des céréales.

L'étude de consommation montre que les individus d'âge inférieur à 30 ans consomment moins Adowè. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la maîtrise de certaines techniques culinaires compliquées dépend d'une expérience que n'ont pas encore ces jeunes adultes. Cette expérience, rarement documentée, se transmet le plus souvent de génération en génération. Elle montre également que la consommation de Adowè est plus fréquente chez les sujets de plus de 40 ans ayant acquis une maîtrise de la technique de préparation.

Enfin l'étude de la consommation de Adowè selon les régions montre clairement une étroite relation ( $p < 0,05$ ) entre la consommation et les régions. En effet, Adowè est plus consommé dans la région Maritime du Togo ; que dans les autres régions où cette forme de préparation du

niébé est moins familière et moins consommé. Cette situation s'explique par le poids des habitudes alimentaires le plus souvent culturelles et traditionnelles. Certains auteurs ont indiqué que la caractéristique démographique la plus prédictive pour le choix alimentaire d'une personne est la culture (Kittler et Sucher, 2007 ; Rozin, 2007).

## Conclusion

L'étude a porté sur la purée de niébé dépelliculée (Adowè) car elle représente une forme de préparation susceptible de débarrasser les graines de niébé des substances anti-nutritives. Elle se présente sous forme d'un produit fini qui serait facilement ingérable et assimilable notamment par les enfants de très bas âge ne disposant pas encore d'une importante capacité de mastication. Les femmes enceintes et allaitantes ainsi que d'autres personnes peuvent bénéficier de cette purée car elles ont des besoins d'une alimentation riche en protéines pour renforcer leurs défenses immunitaires, la croissance et la réparation tissulaire aussi bien pour elles que pour les bébés qu'elles portent. Cependant il est remarqué que les habitudes alimentaires des enfants dépendent de celles de leurs parents et du milieu dans lequel ils grandissent. Par conséquent l'importance et la fréquence de consommation de Adowè dans l'alimentation des nourrissons sont dictées par les parents. Dans la présente étude, le facteur principal de la non consommation de Adowè chez les enfants est la préférence des autres formes de préparation plus facile du niébé. Cela est en étroite relation avec les difficultés rencontrées (temps de trempage, dépelliculage et la technique culinaire) dans la préparation de cette purée dans les ménages. D'autre part, il y a une indisponibilité et un prix élevé de vente de Adowè sur le marché ou dans la rue. Ces contraintes rendent sa fréquence de consommation épisodique. La purée de niébé dépelliculé (Adowè) est bien connue et appréciée au Sud-Togo mais peu connu sur l'ensemble du territoire. Il est donc préférable de développer des procédés de transformation qui permettront de mettre à la disposition de la population une forme de purée rapide d'accès dans le temps et dans l'espace. Notre étude a été menée sur la base d'une enquête alimentaire par échange verbal sur la quantité d'aliment consommée. Cette technique présente des limites du fait des difficultés à estimer la quantité d'aliment consommé en rapport avec les poids des aliments standardisés et les valeurs nutritionnelles codifiées. Cependant, c'est une première étude au Togo et cela constitue les bases des prémices de documentation du système de production et de consommation de la purée Adowè en vue de sa future valorisation.

# **Chapitre 3 : Caractéristiques rhéologiques des graines de niébé dans leurs états cru et cuit**

## Introduction

Faire la cuisine est une pratique qui nécessite des connaissances et des compétences techniques pour contrôler la transformation d'un aliment, en particulier sa texture et sa saveur jusqu'à ce que l'aliment soit considéré comme prêt à la consommation. De nombreux produits agro-alimentaires tels que les fruits, les légumineuses, les racines et les graines sont comestibles crus ou cuits. Par conséquent, il est difficile de savoir précisément si ces produits sont cuits selon le temps nécessaire ou selon la texture (Kouemene *et al.*, 2013). L'appréciation de la nourriture en terme de cuit ou cru dépend de la perception sensorielle et des attentes du consommateur, car le vocabulaire peut varier en fonction du niveau de formation, de la culture et de ses propres habitudes alimentaires. Cependant, dans tous les cas, la méthode de cuisson appliquée doit fournir suffisamment d'énergie à l'aliment pour activer les réactions physico-chimiques des composés alimentaires et leurs évolutions (Coffigniez *et al.*, 2018). Ainsi, les aliments sont cuits lorsque les réactions endogènes liées à la cuisson des aliments sont terminées (Coffigniez *et al.*, 2018). La thermodynamique, c'est-à-dire les états physico-chimiques des composés alimentaires et leurs évolutions, avec la cinétique, c'est-à-dire la vitesse des réactions, déterminent le processus de cuisson (Coffigniez *et al.*, 2018 ; Phillips *et al.*, 1988). La difficulté est de trouver les grandeurs physiques en phase avec les variables thermodynamiques et cinétiques des réactions que les ingénieurs agroalimentaires peuvent se fier pour déterminer quantitativement le début et la fin des processus de réaction de cuisson, ou du moins peuvent identifier la période de transition entre l'état cru et l'état cuit (Kouemene *et al.*, 2013).

Dans ce travail, la transition des graines de niébé de l'état cru à l'état cuit a été étudiée. Le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) est une légumineuse à graines de plusieurs variétés qui est constitué d'un hile, d'un micropyle, deux cotylédons et d'un axe embryonnaire (Swanson *et al.*, 1985). Les graines de niébé sont composées d'eau (5 à 15 %), de protéines (20 à 26 %), de glucides, d'amidon (40 à 70 %), de fibres (3 à 5 %) et de graisse (1 à 3 %) (Adebooye et Singh, 2007 ; Coffigniez *et al.*, 2019 ; Khattab *et al.*, 2009). Le niébé contient également des vitamines B, telles que la thiamine et la riboflavine respectivement à 0,9 % et à 0,15 % (Edijala, 1980 ; Phillips *et al.*, 1988) ainsi que certains composants antinutritionnels tels que les tanins et les acides phytiques qui peuvent précipiter les protéines et les éléments minéraux (Adebooye et Singh, 2007 ; Khattab et Arntfield, 2009). Pendant la cuisson du niébé dans de l'eau, les graines absorbent l'eau avant la gélatinisation de l'amidon et la dénaturation des protéines. La saveur et la couleur des graines changent ensuite avec le temps, mais aussi avec la quantité de graines et la composition du milieu de cuisson (Phillips *et al.*, 1988). Il est émis l'hypothèse que la



cinétique et les réactions liées à la gélatinisation de l'amidon et à la dénaturation des protéines, dirigerait principalement la cinétique de cuisson des graines de niébé, étant donné que les protéines et l'amidon représentent la majorité du poids total des graines de niébé (60 à 76 %). L'activité (absorption) de l'eau peut entraîner une modification substantielle de la texture des graines. Cette réaction n'est pas considérée à part entière comme une réaction de cuisson (Borges et Peleg, 1997), bien qu'elle puisse être activée cinétiquement par la chaleur (Coffigniez *et al.*, 2019). Ainsi, les graines de niébé peuvent être considérées comme cuites lorsqu'il y a gélatinisation de l'amidon et dénaturation des protéines (Adebooye et Singh, 2007, 2008 ; Coffigniez *et al.*, 2018 ; Khattab *et al.*, 2009).

L'évolution des propriétés mécaniques d'un système constitué de composés similaires peut être affecté par ces transitions d'état comme des composés des graines. C'est ainsi que, les consommateurs utilisent essentiellement le test du doigt comme test mécanique pour évaluer les niveaux de cuisson (Voisey, 1971). Le test du doigt est utilisé pour évaluer le comportement mécanique d'une légumineuse ou d'une céréale lorsqu'il est pressé entre les doigts. Les graines sont considérées comme bien cuites lorsqu'elles peuvent facilement être écrasées entre les doigts. C'est ainsi que Khattab *et al.* (2009) ont défini le temps de cuisson. Adebooye et Singh (2007) ont pressé les graines de haricot entre deux plaques en verre toutes les 5 min. Le temps au bout duquel les graines sont écrasées, a été considéré comme le temps de cuisson.

Selon Voisey (1971), la propriété mécanique est le critère le plus objectif pour évaluer la texture des aliments. Elle a la plus forte influence sur l'acceptation de l'aliment par le consommateur et elle est pertinente dans le contrôle de la sensation en bouche (Ishihara *et al.*, 2013 ; Mohsenin, 1977). L'analyseur de texture ou le rhéomètre est utilisé pour avoir un meilleur contrôle des forces appliquées et la précision des réponses mécaniques de l'aliment. Il permet de recréer les conditions des interactions du consommateur avec l'aliment et de corrélérer ces résultats à des attributs spécifiques de texture sensorielle. Ce travail est consacré à des tests de compression mécanique avec une précision de la force axiale de compression à 10 mN afin de détecter la période du passage des graines de niébé de l'état cru à l'état cuit lors du processus de cuisson. L'énergie d'activation de cuisson est également déterminée. Le but final de cette étude est de déterminer l'évolution des grandeurs physiques ou mécaniques des graines de niébé au cours des réactions qui se déroulent lors de la cuisson.

## 3.1 Matériel et méthodes

### 3.1.1 Matériel

Les graines de niébé ont été achetées sur le marché local à Grenoble (France) et utilisées directement dans l'expérimentation sans traitement supplémentaire. Ces graines sont identiques à celles de la bibliographie. Une sélection des graines basée sur des critères d'appréciation visuelle de l'homogénéité et de la propreté de la surface de la graine a été réalisée. Plus de 100 graines ont été pesées séparément en utilisant une balance de précision 1,0 mg de marque Sartorius. La masse moyenne des graines obtenue est de 0,2 g avec un écart type de 0,023 g. Les masses minimum et maximum des graines sont respectivement de 0,150 g et 0,249 g.

### 3.1.2 Méthodes

#### 3.1.2.1 Traitement physique : trempage et chauffage des graines à 95 °C

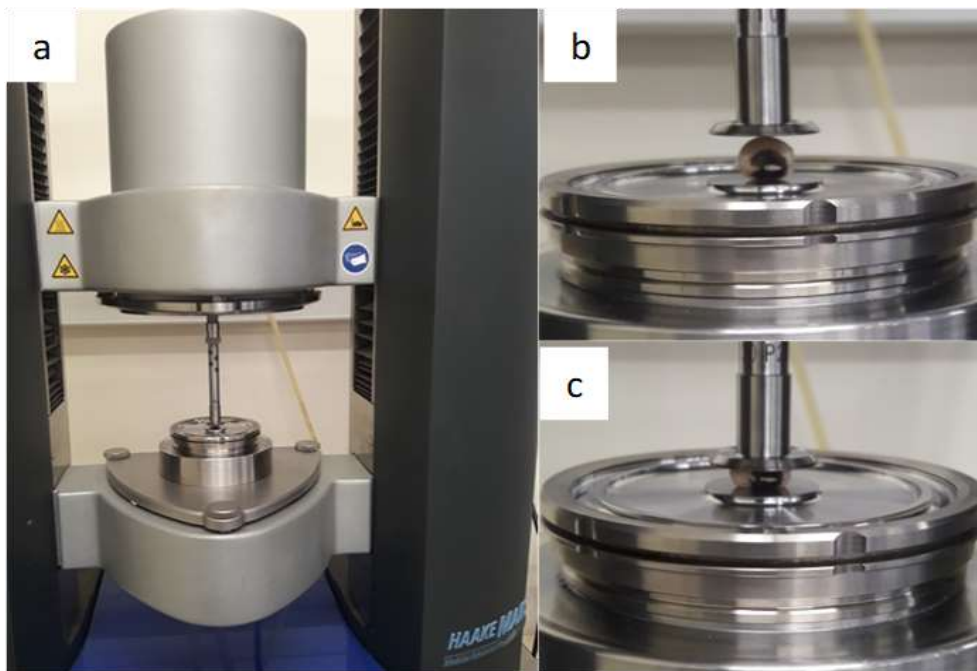
Quatre graines ont été distribuées dans quatre récipients de 20 ml (flacon en verre) et remplies de 2 g d'eau désionisée pour représenter un ratio 1:10 (masse / masse). Les récipients ont été scellés et immédiatement chauffés à 95 °C dans un bain-marie pendant 10, 30, 60, 75 et 90 ± 3 min. Le temps de chauffe ou de cuisson a été sélectionné selon la littérature (Coffigniez *et al.*, 2019 ; Edijala, 1980 ; Khattab *et al.*, 2009). Les auteurs ont rapporté qu'à température supérieure ou égale à 95 °C, le temps de cuisson variera de 35 à 90 min selon le type de graines et de l'imprécision du test au doigt. De plus, la perte de matière solide est plus importante avec le temps de chauffe élevé. En conséquence, nous avons sélectionné pour notre étude, les graines qui semblaient intactes après avoir été chauffées dans l'eau. La masse ou le poids initial ( $w_i$ ) de chaque graine a été enregistré, ainsi que le poids final ( $w_f$ ) après le chauffage dans l'eau. La quantité en gramme d'eau absorbée par gramme de graine de niébé appelée  $R_{cs}$  a été déterminée comme suit :

$$R_{cs} = \frac{(w_f - w_i)}{w_i} \quad \text{Eq. 3-1}$$

Les calculs du taux d'absorption d'eau ont été effectués en utilisant quatre graines par temps de chauffage en quadruple. La température dans les flacons en verre a atteint 60 °C et 95 °C en moins de 2 et 5 min respectivement.

### 3.1.2.2 Test de compression des graines de niébé

Le test de compression des graines a été réalisé à l'aide d'un rhéomètre (Modular Advanced Rheometer System - HAAKE MARS - Thermo Scientific. Figure 28 a) avec une géométrie parallèle de 20 mm de diamètre (Référence TiLL11030P20). Les étapes de mesure ont été gérées avec le logiciel HAAKE RheoWin Job manager 4.85.0002. L'espace nul entre géométrie et la plaque (l'entrefer, « gap ») a été déterminé et la température a été réglée à 25 °C, ensuite la géométrie a été élevée à une hauteur de 10 mm pour chaque début de test. Une graine de niébé a été placée pour chaque mesure entre la géométrie et la plaque, puis une première étape de mesure a été exécutée pour amener la géométrie sur la surface de la graine (Figure 28b), il s'agit de la recherche de hauteur initiale de la graine. La géométrie de l'instrument a cessé de descendre lorsqu'il a mesuré une force de 25 mN, ce qui se traduit que la géométrie a touché la surface de la graine. Cette force est ensuite annulée car elle permet uniquement de rechercher la surface de la graine.

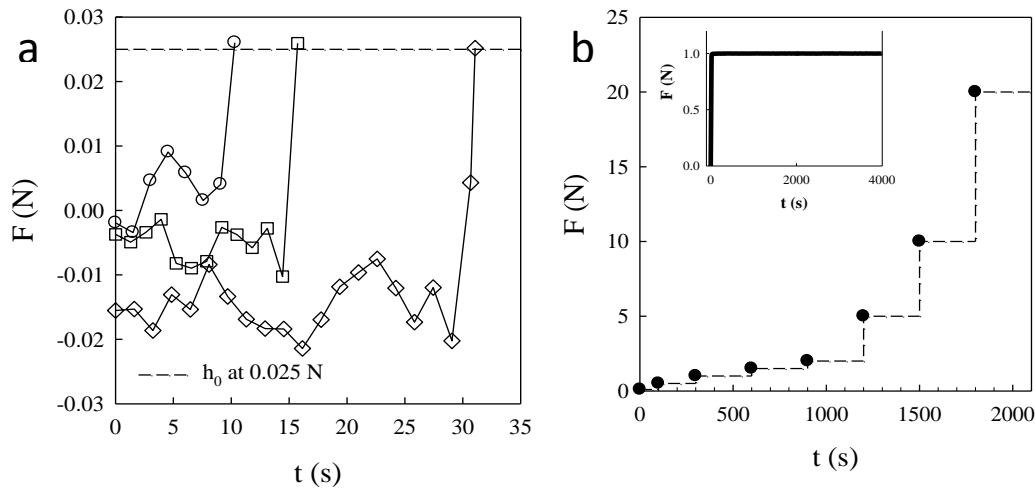


**Figure 28** : Photos du système expérimental (a) montrant le début du test de compression (b) et la déformation de la graine sous l'effet de la compression (c)

Sur la figure 28 b, la force a été remise à zéro lorsque l'instrument de compression (géométrie) touche la surface de la graine. Cette hauteur à laquelle se situe la géométrie avant compression de la graine est considérée comme la hauteur initiale ( $h_0$ ) de la graine. La position en hauteur de la géométrie (Figure 28c) pendant la compression ( $h_t$ ) a été enregistrée et la déformation ( $\epsilon_t$ ) au temps  $t$  a été calculée comme suit :

$$\epsilon_t = \frac{(h_0 - h_t)}{h_0} \quad \text{Eq. 3-2}$$

La force de 25 mN a été choisie pour ne pas trop écraser la graine au touché, également de vaincre la force de résistance de l'air entre la géométrie et la graine. Trois déterminations de la hauteur initiale sont illustrées à la figure 29 a. Les forces détectées par l'instrument fluctuent en dessous de la force de 10 mN lorsque la géométrie avance librement dans la recherche de la surface de la graine. Cependant, au moment où elle a touché la graine, la force a brusquement monté et s'est arrêté à 25 mN. La force est ensuite remise immédiatement à zéro, avant l'exécution du programme de test de compression. Deux types de programmes ont été édités pour étudier la compression de la graine. Le premier programme (insert de la figure 29 b) est l'application sur la graine d'une force de charge constante de 1 N pendant 1 heure pour étudier sa déformation. Le second a été un programme de chargement en plusieurs étapes qui consiste à incrémenter étape par étape différentes charges de forces (0,1 ;0,5 ;1 ;1,5 ;2 ;5 ;10 et 20 N) pendant 300 secondes pour étape de compression (Figure 29 b). Les tests de compression ont été répétés quatre fois en utilisant quatre graines par temps de chauffage pour donner le diagramme de contrainte qui est la moyenne de ces quatre tests et sa barre d'erreur est  $\pm$  l'écart type. Ce type de test de fluage par incrémentation a été utilisé par Mittal *et al.* (1987) pour caractériser la propriété rhéologique du cortex de pommier.



**Figure 29** : Programme de détection de la hauteur initiale des graines de niébé, test répété 3 fois (a), Programmes de compression des graines de niébé (b)

La figure 29 a) montre le test de l'évolution de la force mesurée par la géométrie se déplaçant vers la surface de l'échantillon, répété 3 fois pour le même échantillon (cercle, carré et losange). La surface est détectée lorsque la force atteint 0,025 N. b) l'illustration du protocole

de chargement en plusieurs étapes de compression. L'insert montre le programme de test de compression longue durée pour  $F = 1 \text{ N}$ .

### 3.1.2.3 Test de gonflement lors de la cuisson des graines de niébé

Quatre graines de niébé initialement pesées ont été placées dans de l'eau déminéralisée dans des flacons en verre et chauffés à différentes températures de 23 à 90 °C. Chaque fois que la température de test ou de consigne est atteinte dans le flacon, les graines sont retirées tous les 10 min jusqu'à 200 min, puis pesées. Le test et le pesage s'arrêtent lorsque la variation de la masse ou du poids est presque négligeable. Les températures de test ou de consigne sont les suivantes: 23, 30, 40, 50, 60, 70, 80 et 90 °C. La balance de précision 1 mg (Sartorius) a été utilisée pour les différents pesages des graines. La valeur du taux de gonflement est calculée comme suit :

$$Q_t = \frac{(w_t - w_0)}{w_0} \quad \text{Eq. 3-3}$$

Pour définir la quantité relative d'eau absorbée par les graines au temps  $t$ , où  $w_0$  est le poids initial et  $w_t$  le poids des graines au temps «  $t$  ». La vitesse à laquelle évolue le taux de gonflement  $Q_t$  peut dépendre de la température et peut caractériser le processus de cuisson des graines. L'expérience a été dupliquée et répétée pour différentes températures.

Les graphes et l'analyse des données dans ce chapitre ont été réalisés par le logiciel SigmaPlot version 11.

### 3.1.3 Détermination des conditions d'études : Analyses des données bibliographiques et des tests exploratoires

Au cours des trois dernières décennies, certains auteurs ont étudié la compressibilité uni-axiale des produits alimentaires dans la caractérisation de la texture des aliments. Récemment Kiani Deh Kiani *et al.* (2009) ont appliqué le test de compression à température ambiante pour déterminer l'élasticité des grains de haricot rouge en fonction de leur teneur en humidité, et non pas en conditions de cuisson (Finney *et al.*, 1964 ; Mohsenin, 1977 ; Kiani Deh Kiani *et al.*, 2009). Selon Voisey (1971), la déformation d'un matériau solide sous contrainte constante est indépendante du temps alors que le contraire se produit pour un gel physique. La dépendance du temps de la déformation à contrainte constante est également appelée fonction de fluage. Cette fonction peut être pratique pour le suivi de la transition solide - gel des graines en fonction

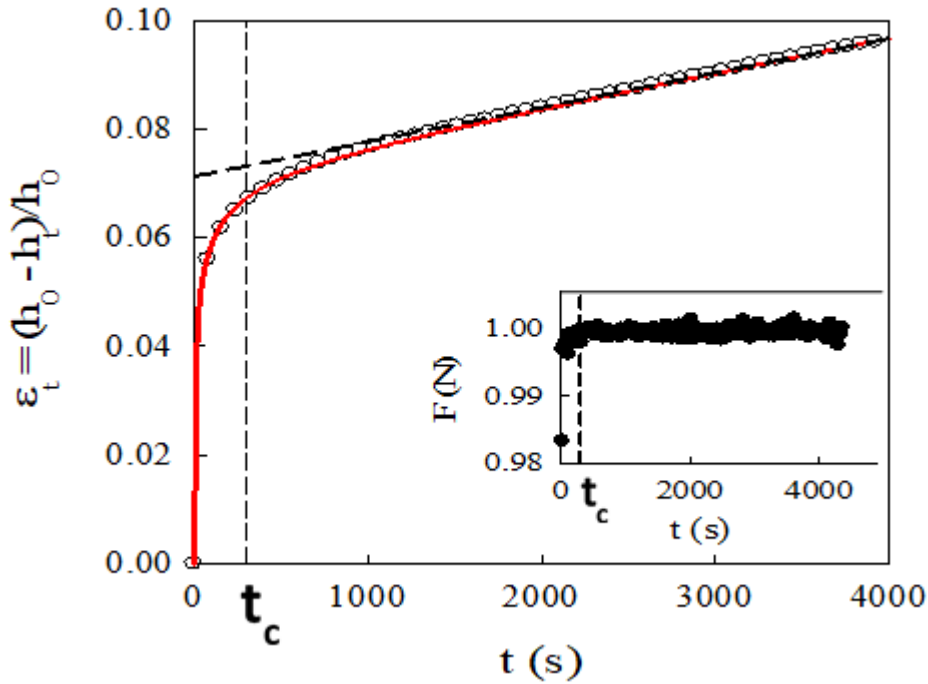
du temps de chauffe ou de cuisson. A l'état gel et sous contrainte constante, les graines peuvent se comporter mécaniquement comme un solide en un temps court mais comme un fluide dans un temps long. La graine de niébé est un assemblage naturel des protéines, des glucides et d'autres composés. Les liaisons entre ces composants majeurs ou nutriments peuvent être physiques (assemblage glucoses-lipides-protéines) et / ou chimiques (glycoprotéines). L'on peut conférer l'identité du gel physique à la graine de niébé du fait que les interactions des composés soient dipolaires, électrostatiques, liaison hydrogène qui se rompent sous l'effet d'une « faible température ». Cette hypothèse de gel physique est faite parce que le rapport de proportionnalité entre les substances chimiques (gel chimique) n'est pas intrinsèquement défini par rapport à la quantité des rapports entre les atomes ou les molécules (gel physique). Le temps critique qui caractérise le passage de l'état solide à l'état liquide, est nommé temps d'élasticité. Il dépend de la contrainte pour des systèmes de polymère et de gels colloïdaux (Sprakel *et al.*, 2011). Les graines de niébé sont issues d'une sélection naturelle et sont donc très hétérogènes dans sa composition et sur le plan structurel. La surface sur laquelle la force est appliquée est inconnue car elle varie constamment. De plus, cette surface de contact de la graine et la géométrie se dilate sous des forces de compression et de déformation importantes. Ces facteurs affectent la détermination du module de Young ainsi que le module d'élasticité volumique lorsque les produits agricoles sont soumis à des forces de compression. Ces facteurs sont documentés par la littérature (Finney *et al.*, 1964 ; Hamann *et al.*, 2006 ; Hammerle et McClure, 1971 ; Mohsenin, 1977). En raison de ces facteurs, seules la force et la déformation sont enregistrées dans la présente étude pour tenir compte de la viscoélasticité des graines lors de l'évaluation des niveaux de cuisson des graines. Cette méthode implique que les graines ont une dimension identique pour faire une comparaison significative entre des échantillons de différents temps de chauffage (Voisey, 1971). L'analyse est basée sur le fait que la variation de la surface apparente des graines (S) et du module de Young (E) dépend strictement du temps de chauffage. Par conséquent, le produit  $E \times S$  donne une grandeur physique que l'on nomme indice d'élasticité ou indice élastique ( $K_e$ ) dont l'unité est en Newton (N). L'évolution de cette grandeur résulte du module de Young (E) et est strictement le résultat du temps de chauffage des graines. Elle pourrait permettre de distinguer les graines de niébé crues des cuites (Eq.3-4). Il faut également noter que l'étude de déformation des produits alimentaires naturels est difficile à réaliser avec des grandeurs physiques connues, ainsi, par exemple l'on trouve un coefficient de Poisson étrange lors de l'étude de déformations des produits alimentaires (Kiani Deh Kiani *et al.*, 2009 ; Voisey, 1971).

$$\mathbf{K}_e = \frac{dF}{d\varepsilon} = \frac{F}{\varepsilon} \quad \text{Eq. 3-4}$$

Avec  $dF=F$  : force de compression et  $d\varepsilon=\varepsilon$  : déformation élémentaire ou déformation

Le test de compression à 1 N pendant 1 heure de temps d'une graine de niébé trempée dans de l'eau déminéralisée et chauffée pendant 10 min est présenté sur la figure 30 et le profil de la force appliquée est représentée par la figure insérée.

Comme résultat : la déformation de la graine a d'abord fortement augmenté exponentiellement puis asymptotiquement au cours du temps critique limité sur l'axe du temps par la ligne verticale pointillée. Le profil de force avec une ligne pointillée représente le temps nécessaire à l'instrument de charger la force indiquée (1 N). La progression de la déformation en fonction du temps pendant la phase de chargement est le résultat du couplage entre l'activité de chargement et la réponse viscoélastique de l'échantillon (graine chauffée). Cette étape pourrait être affectée par la capacité de vitesse de chargement de l'instrument. Il faut donc garder à l'esprit que ce n'est pas seulement la réponse de la graine, mais que cela pourrait aussi être due à une imperfection expérimentale. Cependant, cette phase de chargement est fondamentale pour comprendre le comportement de l'échantillon pour la suite de cette étude. Pour un matériau parfaitement élastique, par exemple, l'étape de chargement n'est pas critique, car la constante élastique est indépendante du temps. Cependant, les matériaux viscoélastiques au-dessus de la limite d'élasticité ont démontré un comportement mécanique dépendant du temps (Kiani Deh Kiani *et al.*, 2009 ; Mittal *et al.*, 1987 ; Nussinovitch *et al.*, 1990). Etant donné que l'échantillon actuel (graine de niébé) a ensuite présenté un comportement d'écoulement, il ne peut être exclu que le taux de charge de la force a une influence sur la microstructure de l'échantillon. Par conséquent cela peut expliquer la propriété d'écoulement de l'échantillon. Les conditions expérimentales auraient pu être difficiles, si les échantillons avaient subi un vieillissement sévère (déshydratation après le chauffage) dans l'intervalle de temps de la mesure car cela pourrait affecter son comportement mécanique (Kouemene *et al.*, 2013 ; Landrum *et al.*, 2016). La figure 30 suivante représente le résultat du test exploratoire afin de bien comprendre le comportement de la graine de niébé après compression. Ce test exploratoire a permis d'ajuster le programme d'exécution de l'appareil (Rhéomètre MARS) au cours de cette étude.



**Figure 30** : Variation de la déformation d'une graine de niébé chauffée à 95 °C pendant 10 min, sous l'effet d'une force de chargement de 1 N. La figure insérée décrit le profil de la force appliquée

La ligne continue rouge à travers les données (fonction de fluage) représente l'ajustement d'équation Eq. 3-5 avec  $\omega$  la pente de la ligne en tirets qui représente l'asymptote de l'évolution du fluage ( $\omega t^\beta + \varepsilon$ ), et  $\varepsilon$  est l'endroit où l'asymptote traverse l'axe du temps 0. Les paramètres d'ajustement sont :  $t_c = 23$  s,  $\alpha = 0,35$ ,  $\beta = 1$ ,  $\varepsilon = 7,13$  %,  $\omega = 6,35 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ .

$$\varepsilon_t = (\varepsilon_0 - \varepsilon) \cdot e^{-N_t} + \omega \cdot t^\beta + \varepsilon \quad \text{Eq. 3-5}$$

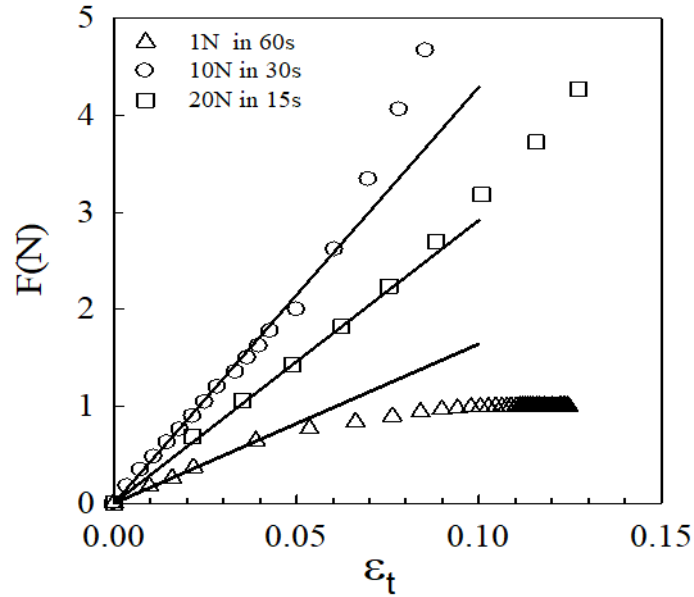
$$\text{Avec } N_t = \left(\frac{t}{t_c}\right)^\alpha \quad \text{Eq. 3-6}$$

La fonction d'ajustement, Eq. 3-5, est une combinaison de la première phase est nommée phase exponentielle étirée où la réponse du matériau à la force de chargement est de type pseudo-élastique qui est démontré par la figure 31, et la seconde phase nommée phase linéaire à force constante ou phase asymptotique représente l'écoulement de l'échantillon. Le  $t_c$  dans le  $N_t$ , Eq.



3-6, représente le temps de conformité ou temps caractéristique pendant la phase de chargement de force. L'écoulement du matériau a lieu dans ce cas à la suite des événements de désordre survenus lors du comportement pseudo-élastique (la complaisance). Le  $\alpha$  dans  $N_t$  est le facteur structurel dépendant du temps des événements anarchiques qui se produisent dans le matériau. Les événements peuvent survenir de temps en temps au lieu d'être continus parce que la dynamique interne est très faible pour que l'on considère que ces événements se produisent librement et continuellement. Le paramètre  $\varepsilon_0$  définit la condition initiale de la déformation. Pour la phase asymptotique de la fonction de fluage,  $\omega$  et  $\varepsilon$  sont les constantes de la fonction de régression linéaire, le cas échéant et ils désignent respectivement le taux de déformation ou vitesse de déformation et la déformation axiale de la graine. La constante  $\varepsilon$  est représentée par le point d'intersection entre l'axe y et la fonction de l'asymptote horizontale  $\omega \cdot t^\beta + \varepsilon$  à  $t_0$ . La déformation instantanée  $\varepsilon$  est en quelque sorte le début de la réponse élastique à la charge de force constante appliquée. C'est un paramètre qui définit l'écoulement de l'échantillon. Le paramètre d'ajustement  $\beta$  peut prendre la valeur de 1 pour toutes les mesures analysées, mais comme nécessaire, une valeur comprise entre 0,95 et 1 a été testée pour avoir la meilleure adéquation avec la mesure. Sauf contre-indication, la valeur de  $\beta$  est égale à 1 dans notre étude. En résumé, pour les échantillons actuels (graine chauffée dans l'eau pendant 10 min), la figure 30 montre la fonction d'ajustement et la fonction de régression linéaire de la phase linéaire. Les deux fonctions sont respectivement tracées en traits plein rouge et en pointillé. Les valeurs des paramètres de réglage sont également indiquées dans la légende. Le taux de déformation ou la vitesse de déformation,  $\omega$ , de la graine de niébé chauffée pendant 10 min est égale à  $6,35 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ . La graine actuelle ressemble donc à du chewing-gum dur lorsqu'elle est pressée entre les doigts, ce qui implique que la graine dans cet état elle n'est pas encore molle pour être mangée (Khattab *et al.*, 2009).

Afin de mieux comprendre la phase exponentielle étirée de la fonction de fluage de l'échantillon, il a été jugé nécessaire de faire un grand plan sur la corrélation entre les forces de chargement et les débuts des réactions des graines (déformations). La figure 31 suivante présente l'étude du temps nécessaire à l'échantillon pour subir des phénomènes de désorganisation internes et de commencer à s'écouler. Ce temps dépend de plusieurs facteurs qui suscitent la curiosité de nombreux auteurs (Coussot, 2014 ; Sprakel *et al.*, 2011).



**Figure 31** : Variation du domaine de réponse linéaire de la graine de niébé chauffée à 95 °C pendant 10 min, selon les forces de chargement

La figure 31 démontre que les graines ont une réponse de type pseudo-élastique ou élastique au début du chargement de chaque force. La remarque faite dans l'immédiat est que, plus la force de chargement est élevée, plus le processus de chargement est rapide et plus le domaine de déformation élastique est élevé. Cette observation reflète l'impact du taux de chargement sur la réponse élastique des échantillons. Les forces et les temps nécessaires pour le chargement de ces forces par l'appareil sont indiqués dans la figure 31.

Le domaine de réponse linéaire de la graine de niébé semble augmenter avec l'accroissement du taux de chargement. Ce dernier est également inversement proportionnel à la force de chargement. Par ailleurs, Kiani Deh Kiani *et al.* (2009) ont constaté que le module de Young des semences des haricots rouges augmente lorsque le du taux de chargement croit. Il est déduit qu'aux erreurs expérimentales près (Voisey, 1971), ces observations sont le résultat de troubles dépendant du temps ou de phénomènes de changement d'état qui interviennent dans les matières alimentaires dès qu'elles ont été sollicitées (Coussot, 2014).

Ces phénomènes de désordre interne de la graine créent par le théorème de l'énergie cinétique, une variation d'énergie cinétique dû au travail de force qui déplace une masse d'un point à un autre de la graine. Une partie de cette énergie est convertie en entropie. Le temps de conversion

dépend de la cinétique des mécanismes de réaction (Landrum *et al.*, 2016). Le matériau présente une propriété élastique apparente si l'augmentation du taux de charge compense la perte d'énergie, si le chargement est effectué plus rapidement que le temps de relaxation du matériau, alors le matériau a tendance à se comporter comme un solide parfait. Fait intéressant, les échantillons de cette étude présentent un taux de déformation constant défini par la pente de l'asymptote sur la figure 30. Une courbe de fluage similaire a été trouvée avec le gel de gellan dans la littérature (Nussinovitch *et al.*, 1990). Cela signifie que, si une relation linéaire entre la force appliquée et le taux de déformation est vérifiée, alors une grandeur physique dont l'unité est exprimée en Newton-seconde « Ns » peut refléter la viscosité du matériau. Cette grandeur pourra être déterminée et sera nommée indice de viscosité  $K_v$  selon l'Eq.3-7 suivante :

$$K_v = \frac{dF}{d\omega} = \frac{F}{\omega} \quad \text{Eq.3-7}$$

Avec  $dF=F$ : force de compression et  $d\omega=\omega$  : taux ou vitesse de déformation

La force appliquée a été tracée en fonction du taux de déformation de l'échantillon, après avoir effectué le test de compression à différentes forces constantes. Cependant, le résultat est aberrant et inexploitable, ce qui est probablement dû au fait qu'une nouvelle semence de graine préparée dans le même état était chargée sur le rhéomètre lorsque la force appliquée était modifiée. Les trois graphiques de la figure 31 démontrent clairement l'impact de la caractéristique physique des graines sur la reproductibilité des données. Ainsi l'indice élastique,  $K_e$ , correspondant aux trois graines d'une préparation identique c'est-à-dire graine chauffée dans de l'eau à 95°C pendant 10min a donné des valeurs suivantes : 16,42 N, 42,9 N et 29,17 N dont la valeur moyenne  $\pm$  écart-type est de  $29,5 \pm 13$  N. Ces résultats laissent à penser que la composition native et les dimensions des graines peuvent être les principales causes des aberrations des chiffres car cela affecte la déformation axiale. En effet, l'erreur sur la déformation élémentaire,  $d\epsilon$ , peut être exprimée comme la somme des erreurs dues à : -i) les forces appliquées (F),  $d\epsilon_F$ , comme imperfection instrumentale ; ii) module d'élasticité (E),  $d\epsilon_E$ , comme la variation de la composition des graines ; et (iii) la zone (S) sur laquelle les forces appliquées sont réparties,  $d\epsilon_S$  comme dimensions de germe. Si le module élastique des graines est supposé identique et que les erreurs sur la force appliquée sont négligées alors l'erreur sur la déformation est géométrique et établie comme l'Eq.3-8 suivante :

$$d\varepsilon = d\varepsilon_s = \left(\frac{ds}{s}\right) \cdot \varepsilon \quad \text{Eq. 3-8}$$

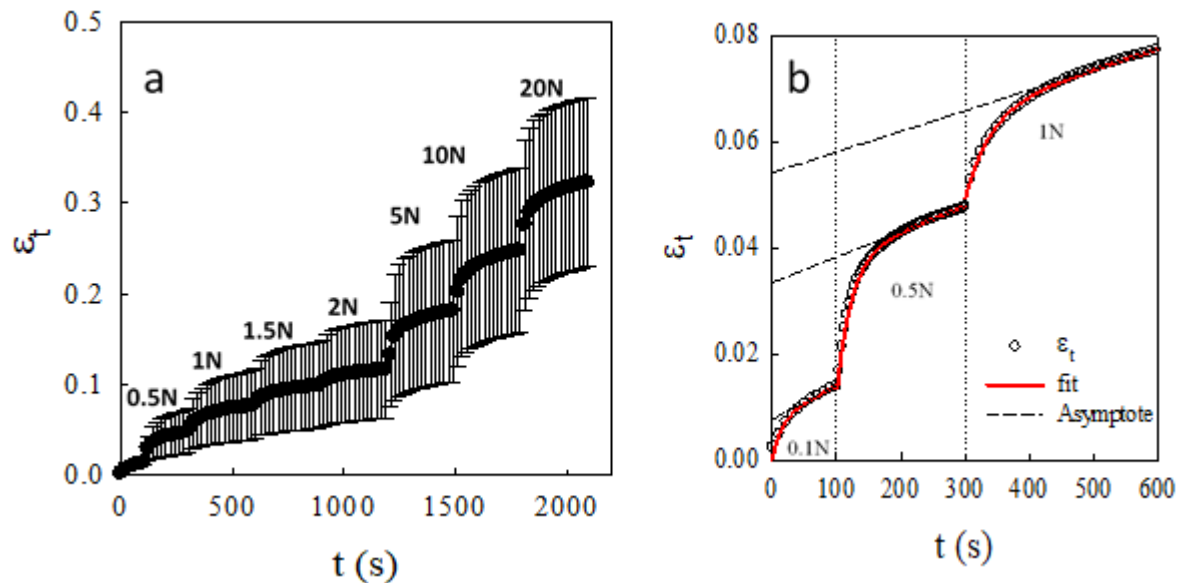
Bien que les valeurs précises du module élastique soient quelque peu incertaines, le comportement en fluage de la majorité des échantillons testés est le même dans notre étude. C'est ainsi que le modèle d'Eq. 3-5 a été essayé pour déterminer les paramètres caractéristiques dans la discussion sur les propriétés mécaniques de ces systèmes complexes. La déformation a été calculée, puis le graphique a été ajusté à l'Eq. 3-5 pour obtenir les valeurs des paramètres d'ajustement pour chaque test effectué.

Au terme de nos analyses des données des tests exploratoires, le programme de compression par incrémentation à différentes forces a été retenu pour l'étude de compression mécanique des graines de niébé.

## 3.2 Résultats et discussion

### 3.2.1 Déformation des graines de niébé en réponse à des forces de compression incrémentielles

La moyenne de la déformation issue de la mesure des 4 graines après 10 min dans l'eau à 95 °C est représentée sur la figure 32 a. L'écart-type par déformation moyenne donne une valeur  $\delta$  qui fluctue entre 10 % et 50 %. La médiane des valeurs  $\delta$  donne 30 %, c'est-à-dire que 50 % des valeurs  $\delta$  sont inférieures à 30 % et 50 % des valeurs  $\delta$  sont supérieures à 30 %. Cette fluctuation a également été observée pour toutes les autres grandeurs qui ont été déterminées (comme indice de viscosité, indice d'élasticité, taux de déformation, etc.). Par conséquent, sauf indication contraire, compte tenu d'une quantité  $\Psi$  d'essais mécaniques, l'écart-type de la moyenne peut être considéré comme 30 % de la moyenne dans la présente étude. Par souci de clarté, seules les moyennes des tracés de déformation sont affichées sur la figure 32 b. Les graphiques ont été analysés à l'aide de la fonction d'ajustement (ligne continue rouge). Les lignes pointillées montrent la fonction de régression linéaire de la partie d'écoulement des échantillons et les points où elles rencontrent l'axe du temps à  $t_0$  sont des déformations instantanées pour chaque force de compression appliquée sur l'échantillon. Le délai entre les compressions (lignes pointillées) a été décidé selon les tests exploratoires précédents sur les échantillons de la même série et le programme de test de compression a été ajusté pour s'adapter au comportement des échantillons.



**Figure 32** : Courbes de déformation des graines de niébé chauffée à 95 °C pendant 10 min, en fonction du temps de compression

La figure 32 indique en a) la dépendance au temps de la déformation ( $\epsilon_t$ ) d'une graine de niébé après chauffage à 95 °C pendant 10 min en raison du chargement des forces multiples. Les barres d'erreur sont l'écart-type calculé sur la moyenne de 4 graines. En b) le zoom avant sur les forces de compression de : 0,1 N, 0,5 N et 1 N pour montrer l'ajustement de la fonction de fluage par l'équation 3-5 et le point de croisement de l'asymptote (ligne pointillée) avec l'axe du temps zéro (0). Pour les barres d'erreur de la figure 32 b, voir la figure 32a ou appliquer  $30\% \times \epsilon_t$  pour obtenir l'écart-type.

Les graines de niébé se comportent instantanément comme un matériau élastique. Juste avant que la charge de force appliquée soit atteinte, les graines commencent par présenter un comportement d'écoulement visqueux constant. Il est à noter que le délai entre les forces n'a pas été modifié (augmenté par exemple) pour voir leur impact sur le comportement des échantillons. Cela sera testé dans une autre étude.

Le test de compression a été réalisé dans un état non confiné, de sorte que les graines se sont dilatées transversalement montrant un comportement d'écoulement qui n'est pas sous la forme d'un fluide incompressible. Cependant un certain nombre de facteurs peuvent entraîner l'arrêt de la compression, à savoir: i) lorsque, localement la concentration augmente et que la compressibilité des graines diminue, et lorsque le volume diminue vers le volume total des constituants élémentaires non comprimés. La déformation des graines sera stoppée par l'effet d'exclusion des constituants élémentaires, c'est-à-dire la limite de compressibilité des

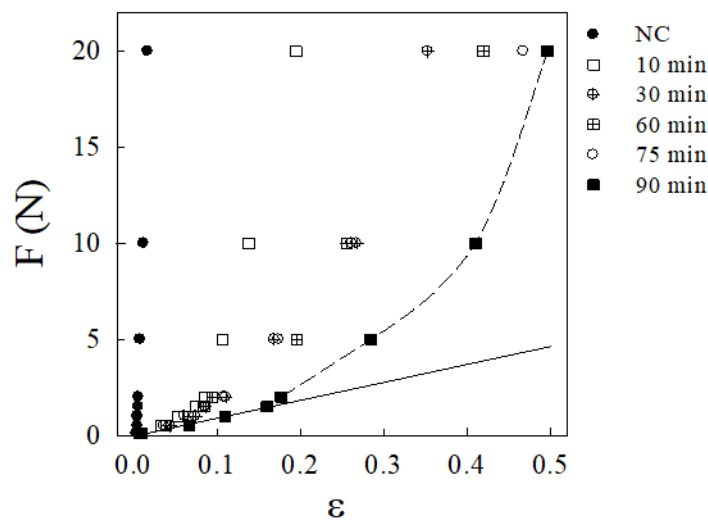
échantillons ; et ii) lorsque la géométrie atteint l'écart nul, les mesures n'ont pas montré de tendance notable à la stabilité. Cela signifie que le degré maximum de compactage n'a pas été atteint pour tous les essais mécaniques. Le temps entre l'application de la charge et le moment où l'échantillon cède, correspond au seuil élastique de la graine ou au temps critique. Il dépend généralement de la force appliquée parce que l'effet de seuil est un processus d'activation d'énergie. Les événements qui se déroulent durant le temps critique dépendent des contraintes ou des forces appliquées et varient d'un système à l'autre. Ce temps critique dépend de la compétition et de la collaboration ou des effets synergiques entre de nombreux effets de seuil qui peuvent avoir lieu dans la graine à tout instant. Le mouvement thermique des petites molécules et la reptation des biopolymères (De Gennes, 1976), l'équilibre entre la dynamique de rupture et la reconstruction des liaisons physiques (Sprakel *et al.*, 2011) sont en partie les causes des effets de seuil dont la cinétique détermine le temps critique du comportement de fluage des échantillons.

Le temps critique,  $t_c$  et  $\alpha$  de la fonction d'ajustement sont relatifs au comportement temporel de l'échantillon sous le seuil élastique. Les valeurs de  $\alpha$  varient entre 0,5 et 1 quand les valeurs de  $t_c$  varient entre 14 s et 70 s avec le changement des forces appliquées. Cela signifie qu'une corrélation claire entre le paramètre  $\alpha$  ou  $t_c$  et les forces appliquées n'a pas été observée dans la présente étude. Ainsi, il n'a été possible de corrélérer par la suite le temps critique avec le temps de chauffage des graines. Cela démontre la complexité de caractériser le temps critique des matériaux condensés hétérogènes (graines de niébé) sous contrainte mécanique. Par exemple, il est démontré que le temps de relaxation très court des systèmes colloïdaux et des polymères est lié à la contrainte appliquée (Sprakel *et al.*, 2011). Cependant, pour un mélange de polymères et de systèmes colloïdaux ou pour des systèmes hétérogènes en général, cette correspondance n'est essentiellement pas confirmée. Les graines de niébé sont constituées d'un ensemble de granules d'amidon, d'une matrice protéique, des hydrocolloïdes et une faible présence de graisse (Coffigniez *et al.*, 2019 ; Swanson *et al.*, 1985). Le test de compression d'un tel système a montré des effets de seuil malgré les forces de compression appliquées soient situées entre 100 mN et 20 N. Cela démontre qu'une faible énergie est nécessaire pour activer les effets de seuil. L'absorption d'eau par les graines fait gonfler la microstructure et augmente les espaces intercellulaires est accélérée par la chaleur, les effets capillaires et par les substances à base de pectine et de protéines grâce au processus de migration afin d'équilibrer la pression osmotique (Coffigniez *et al.*, 2019). Bien que l'apparence de la graine semble être préservée, certaines des parois des cellules interfaciales pourraient avoir été endommagées et l'eau peut continuer à se

diffuser à l'intérieur de la graine jusqu'à ce que la pression osmotique soit équilibrée même à température ambiante. La dynamique du système pour atteindre l'équilibre aurait été renforcée par une augmentation locale de la température due aux effets des contraintes. Le graissage des espaces interstitiels entre les cellules de la graine et leurs gros amas en raison de la présence de substances lipidiques dans les espaces intercellulaires serait également renforcée par l'augmentation de température induite localement par la compression. Il est à noter qu'après 10 min dans l'eau à 95 °C, les graines ont pris en moyenne environ  $0,4 \pm 0,3$  g d'eau par gramme de graines.

### 3.2.2 Rapports entre les forces de compression et les déformations selon le temps de chauffage des graines de niébé

Il a été montré précédemment (Figure 31) que les réponses instantanées des échantillons sont élastiques ou pseudo-élastiques dans un premier temps, suivies par une phase d'écoulement lorsque les forces de compression imposées sont complètement chargées. L'intersection entre l'asymptote de la phase d'écoulement et l'axe du temps  $t_0$  est considérée comme la déformation élastique instantanée,  $\epsilon$ , affectée à la force de compression appliquée. La figure 33 suivante montre les résultats pour différents temps de chauffage à 95 °C et au temps de chauffage zéro (0) pour les graines non cuites (niébé cru ou natif), qui sont désignées par NC.



**Figure 33 :** Variation de la déformation instantanée ( $\epsilon$ ) des différentes graines de niébé après application des différentes forces de compression.

La ligne pleine continue à travers les données de la figure 33 montre le domaine élastique ou pseudo-élastique pour les graines après chauffage à 95 °C pendant 90 min et la pente reflète l'indice élastique en unité Newton (N). La ligne en tiret est un guide pour les yeux. Pour avoir

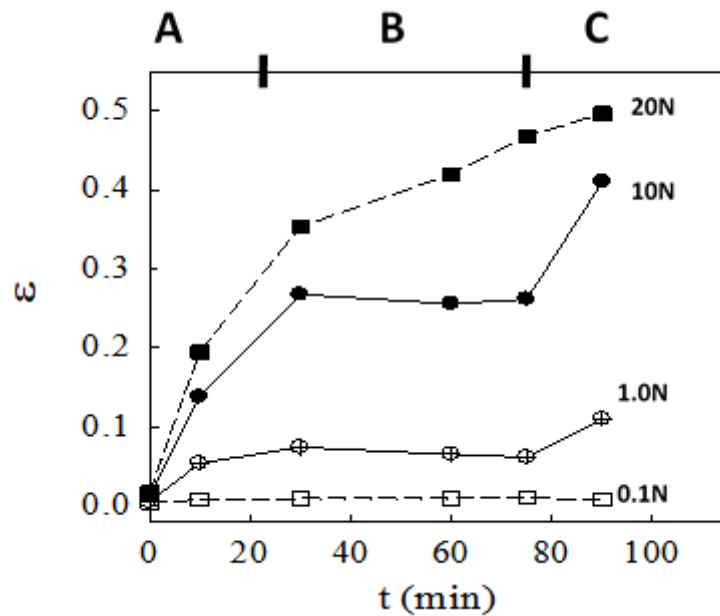
les données des quatre graines de niébé, il faut appliquer  $30 \% \times \epsilon$  pour l'écart-type horizontal. La force en tant que fonction de déformation instantanée des graines augmente assez linéairement comme le montre la ligne pleine continue à travers les données de « 90 min » et s'écarte de la linéarité avec une pente plus élevée. Les tests de compression des gels d'alginate ont montré une tendance pratiquement similaire, que les auteurs ont décrite par une fonction concave ascendante utilisant un modèle de la loi de puissance, où le pré-facteur était appelé la rigidité du gel et la puissance appelée le degré de concavité qui reflète l'écart par rapport à la linéarité. Lorsque la puissance est égale à 1, le modèle de loi de puissance se réduit à la loi de Hooke et le pré-facteur coïncide avec le module d'élasticité (Mancini *et al.*, 1999). La pente est caractéristique de l'élasticité des graines. Une augmentation de cette pente signifie un raffermissement de la graine. Cependant, sous une force de compression non confinée, cette tendance peut refléter les effets de compactage nécessitant une force supplémentaire pour déformer l'échantillon plutôt que les effets d'écrouissage (Mancini *et al.*, 1999). De plus, la résistance à l'étirement de la pellicule pourrait expliquer la montée de la fonction force-déformation. À des forces de compression plus élevées, l'amplitude de la déformation diminue à partir de la graine crue avec l'augmentation du temps de chauffage. Cependant, la façon dont il diminue semble dépendre des forces appliquées.

La figure 35 ci-dessous montre pour chaque force appliquée, les valeurs de déformation en fonction des temps de chauffage. Les résultats de cette figure imitent le mécanisme de vérification du caractère cuit ou non des graines. Ce mécanisme consiste à prendre une graine après chaque temps de chauffage et l'écraser entre les doigts ou les dents. L'échelle de A à C montrée sur l'axe supérieur de la figure 35 représente la sensation de la graine entre les doigts ou les dents dont l'illustration est la figure 34 ci-dessous.



**Figure 34 :** (A) Photos d'une graine de niébé natif (niébé cru), puis chauffée pendant (B) 60 min, (C) 90 min à 95°C, et (D) le test du doigt appliqué sur la graine (C)





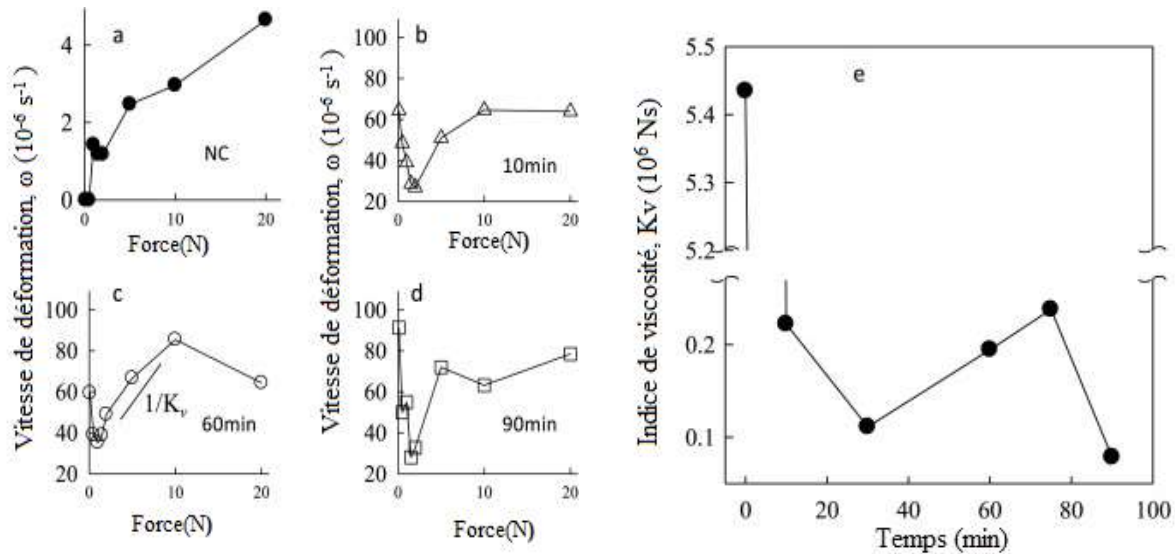
**Figure 35** : Courbes de déformation instantanée ( $\epsilon$ ) des graines de niébé en fonction des différents temps de chauffage, pour chaque différente force de compression appliquée

La figure 35 représente la courbe des déformations de la figure 33 en fonction du temps de chauffage à 95 °C lorsque les forces indiquées sur la figure sont appliquées. Le test au doigt A, B et C sur l'axe supérieur représente la façon dont la graine de niébé a été perçue par différentes personnes (Figure 34) où A = non cuite ou non comestible ; B = cuisson moyenne ou ferme sur les dents, c'est-à-dire «al-dente » ; C = cuisson normale ou bien cuite. Pour avoir les données des quatre graines de niébé, il faut appliquer  $30\% \times \epsilon$  pour l'écart type vertical et  $\pm 3$  min pour les barres d'erreur horizontales (temps).

Selon que les forces appliquées soient faibles ou fortes, soit 0,1 N ou 20 N, la déformation de la graine évolue sans signature discriminante significative entre les niveaux de cuisson. Pour la courbe de 20 N, le changement de pente est faible entre A et B et est absent entre B et C. Pour la courbe de 0,1 N, les déformations sont trop faibles pour fournir des informations pertinentes sur les périodes des réactions de cuisson. Par conséquent, le tri par niveau de cuisson de la graine est faiblement précis avec les deux forces extrêmes. Cependant, pour les forces de compression intermédiaires (1 N et 10 N), le test montre une phase de transition remarquable qui se caractérise par un plateau entre les niveaux A et C. Les forces de compression de contrôle montrent une nette coupure entre les graines crues et cuites tant que le test de compression est fait avec ces forces appliquées.

### 3.2.3 Vitesse de déformation par compression et indice de viscosité des graines de niébé

Les courbes de vitesses de déformation ( $\omega$ ) des graines sont tracées en fonction des forces appliquées aux différents temps de chauffage : 10 min, 30 min, 60 min, 75 min, 90 min. Quatre graphiques sont affichés à la figure 36 ci-dessous pour illustrer la dépendance à la force de compression de la vitesse de déformation ( $\omega$ ). Ces graphiques sont illustrés pour la graine crue ou niébé cru (Figure 36 a), la graine après un temps de chauffage de 10 min (Figure 36 b), 60 min (Figure 36 c) et 90 min (Figure 36 d) à 95 °C. Le graphique de la graine crue ne montre aucune vitesse (taux) de déformation pour les forces de compression les plus faibles (inférieure à 1 N). Ce taux commence à augmenter à partir d'une force d'environ 1 N (Figure 36 a). Cet accroissement de  $\omega$  à partir d'un seuil de contrainte pourrait également caractériser les graines chauffées, bien que cela ne soit pas visible sur les figures 36 b, c et d. Dans ce cas ce seuil est inférieur aux forces appliquées. En effet, l'ensemble des graines présente un comportement d'écoulement dépendant du temps dont la barrière énergétique provient des liaisons physiques qui fournissent aux graines la résistance à l'écoulement sous leur propre poids. Le fait que  $\omega$  diminue d'abord pour les graines de la figure 36 b, c, d suggère que les molécules d'eau non liées s'exsudent hors des interstices des cellules des graines. Une telle expulsion conduit à un compactage à la suite de quoi  $\omega$  diminue jusqu'à un minimum qui reflète vraisemblablement la transition entre l'élimination de cette eau et un régime d'écoulement de blocage ou d'encombrement. En régime d'encombrement ou de blocage (Jamming),  $\omega$  passe d'une valeur minimum de  $30 \pm 10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  à une valeur maximum de  $75 \pm 10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  avec des forces de compression appliquées croissantes pour les graines chauffées mais le maximum pour les graines natives n'a pas été atteint. La vitesse de déformation  $\omega$  des graines natives ou non cuites est de 10 à 20 fois inférieure à celle des graines chauffées. On suppose que la vitesse de déformation évolue avec les forces appliquées de manière linéaire dans le régime d'écoulement de blocage. Cette hypothèse a permis de calculer l'indice de viscosité ( $K_v$ ).



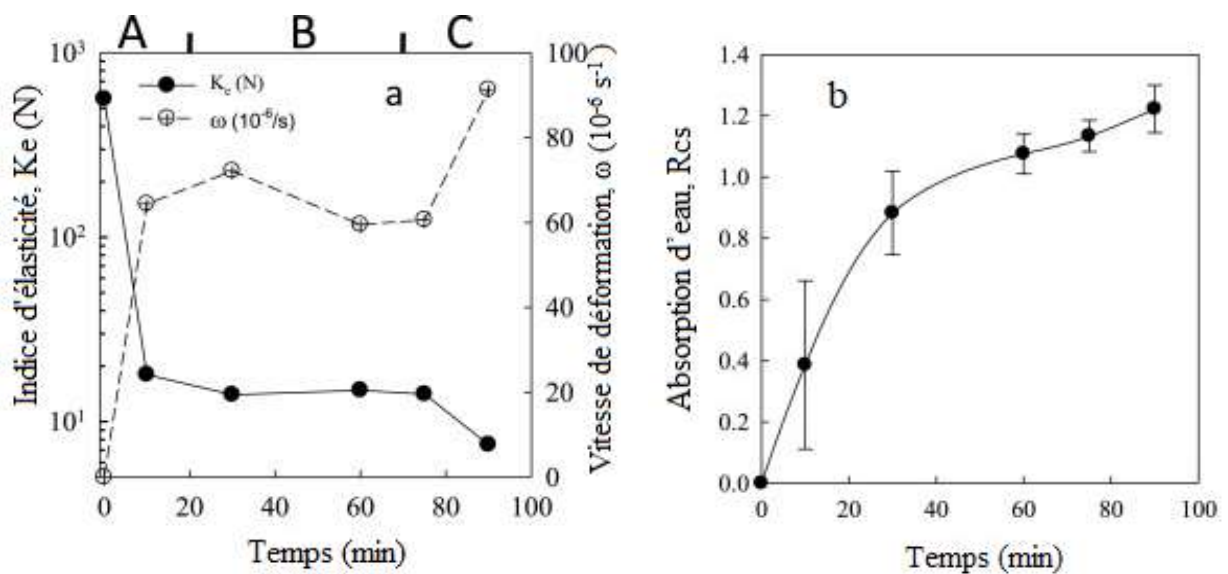
**Figure 36** : Courbes de la vitesse de déformation en fonction des forces de compression appliquées, sur le niébé cru (a), sur les graines de niébé chauffées à 95 °C à différents temps (b, c, d), reflétant l'évolution de la viscosité des graines en fonction du temps de chauffage, temps zéro en (e)

L'indice de viscosité ( $K_v$ ) est calculé selon l'Eq.3-7 précédemment en considérant que la vitesse de déformation ( $\omega$ ) est linéaire avec la force ( $F$ ) dans le domaine d'accroissement (Jamming). Nous notons que l'intersection sur l'axe y montre l'amplitude de la perte du  $K_v$  de la graine une fois qu'il commence à cuire. Le domaine du temps où  $K_v$  augmente montre la transition entre l'état cru et cuit. Pour avoir les données des quatre graines de niébé, il faut appliquer  $30\% \times (K_v, \omega)$  pour l'écart type vertical et  $\pm 3$  min pour les barres d'erreur horizontales (temps).

L'indice de viscosité à la compression ( $K_v$ ) diminue de façon considérable entre le niébé cru (NC) et les graines de niébé après 10 min de chauffage. Cette diminution se poursuit faiblement entre 10 min et 30 min de temps de chauffage et augmente entre 30 min et 80 min, où nous avons vraisemblablement : (i) une gélatinisation de l'amidon (Adebooye et Singh, 2008 ; Biliaderis *et al.*, 1980 ; Kong *et al.*, 1999) ; (ii) une dénaturation avec agrégation de protéines (Tolkach et Kulozik, 2007) ; et (iii) une hydratation des glucides comme la pectine. Tout ce phénomène a lieu de manière significative (Coffigniez *et al.*, 2019). À la fin de ces processus, après 80 min, le  $K_v$  diminue continuellement en raison de l'absorption supplémentaire d'eau (Figure 36 e) jusqu'à ce que les graines éclatent.

### 3.2.4 Raideur, rigidité et vitesse ou taux de déformation des graines en fonction du temps de chauffage

La relation entre déformation  $\varepsilon$  et les forces appliquées a été évalué pour déduire le coefficient élastique selon la loi de Hooke appelée que nous avons nommé indice d'élasticité ( $K_e$ ) en unité N selon l'Eq.3-4 précédemment. Le  $K_e$  est la constante de proportionnalité entre les forces appliquées et la déformation dans le domaine élastique ou pseudo-élastique, c'est-à-dire avant que la déformation soit écarté de la linéarité. Les valeurs de  $K_e$  sont tracées en fonction du temps de chauffage (le résultat des graines de niébé crus est représenté par le temps zéro) sur l'axe gauche de la figure 37 a sur une échelle log-lin. Les vitesses de déformation,  $\omega$ , à 0,1 N sont reportées sur la même figure (Figure 37 a) en fonction du temps de chauffage en utilisant l'axe de droite. Les niveaux de cuisson A, B, C sont présentés sur l'axe supérieur du temps de chauffage. La figure 37 b montre l'évolution de l'absorption d'eau par les graines.



**Figure 37** : Evolution de l'indice d'élasticité sur l'axe gauche et de la vitesse de déformation sur l'axe droit en fonction du temps de chauffage (a). Absorption d'eau des graines en fonction du temps de chauffage (b)

La figure 37 illustre en : a) l'évolution de l'indice d'élasticité,  $K_e$  sur l'axe gauche, et la vitesse de déformation ( $\omega$ ) sur l'axe droit pour la force de compression à 0,1 N en fonction du temps de chauffage de la graine à 95 °C. Pour avoir les données des quatre graines de niébé, il faut

appliquer  $30 \% \times (K_e, \omega)$  pour l'écart type vertical et  $\pm 3$  min pour les barres d'erreur horizontales (temps). b) l'absorption d'eau (masse /masse) des graines de niébé en fonction du temps de chauffage à 95 °C. Les barres d'erreur sont  $\pm$  l'écart type calculé sur 4 graines pour chaque temps de chauffage.

Au cours des 10 premières minutes, l'indice d'élasticité,  $K_e$ , des graines diminue fortement de 560 N à 19 N, soit une perte de 97 % de leur raideur initiale qui est due à l'expulsion de l'eau dans l'espace de la microstructure vers l'extérieur des graines. L'absorption d'eau par les graines au cours des 10 premières minutes est en moyenne de 38 % de la masse des graines (Figure 37 b). Du fait de cette absorption d'eau par la graine, la vitesse de déformation des graines a considérablement augmenté. Lorsque le temps de chauffage passe de 10 min à 30 min, les graines perdent 36 % de leur raideur et la vitesse de déformation des graines  $\omega$  augmente faiblement. Cependant, la quantité d'eau absorbée par les graines au cours de cette deuxième période a augmenté de 50 % avec une vitesse de déformation presque constante. La diminution de la raideur pendant la période de chauffage de 10 à 30 min n'est pas le résultat du seul fait de l'absorption de l'eau mais aussi une conséquence d'un ensemble de mécanisme aux effets opposés qui empêche à la fois la diminution catastrophique de la raideur et le taux de déformations des graines. Ainsi, il peut être suggéré que la gélatinisation de l'amidon pendant cette période de chauffage renforcent les graines. La gélatinisation de l'amidon et la dénaturation des protéines définissent le début de la cuisson plutôt que le seul effet de l'absorption d'eau. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que la cuisson des graines commence entre 10 et 30 min à 95 °C. Lorsque le temps de chauffage est compris entre 30 et 80 min, le  $K_e$  qui définit la raideur reste pratiquement constant à 14 N, bien que l'absorption d'eau par les graines ait légèrement augmenté. Nous pourrions conclure que les réactions de cuisson contribuent à la stabilité du  $K_e$  jusqu'à la fin des réactions entre 75 et 90 min. Au-delà de 75 min la raideur des graines diminue de façon considérable et l'effet contraire est observé avec la vitesse de déformation. Un temps de chauffage supérieur à 90 minutes a détruit les graines et leur contenu interne a été expulsé dans le milieu de cuisson (Edijala, 1980), d'où l'arrêt du processus de cuisson est à 90 minutes.

### **3.2.5 Energie d'activation de cuisson**

La cuisson est un processus par lequel les aliments sont transformés physiquement et chimiquement. La cuisson des graines de niébé dans cette étude a été réalisée en chauffant les

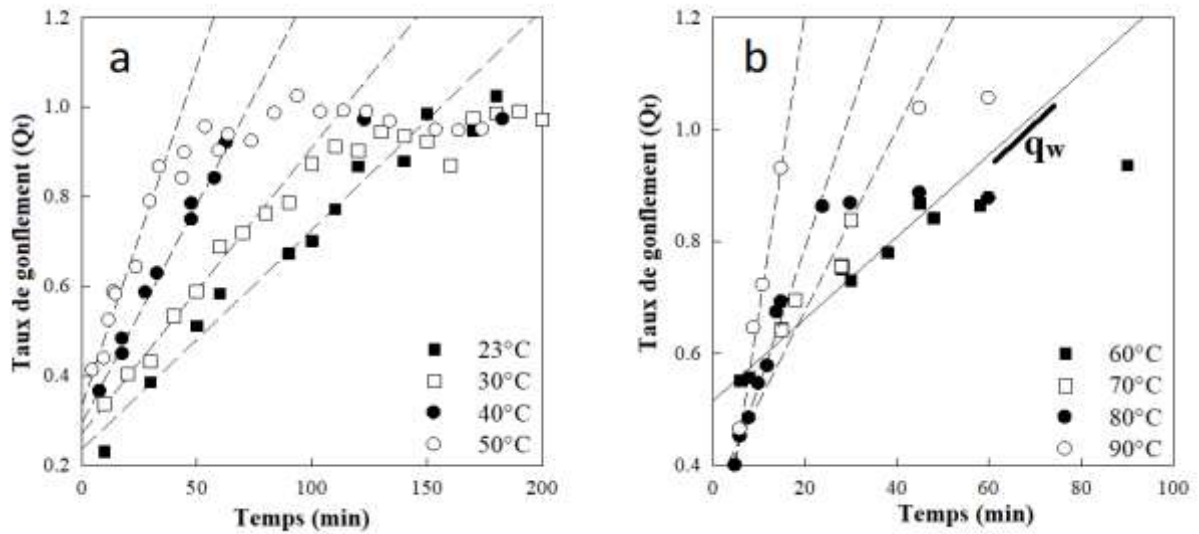
graines dans de l'eau déminéralisée. Dans cette condition, le processus de cuisson est caractérisé principalement par un gonflement, une dénaturation des protéines et une gélatinisation de l'amidon (Tolkach et Kulozik, 2007 ; Coffigniez *et al.*, 2019). La dépendance à la température de la cinétique de gonflement représentée par  $Q_t$  (Eq. 3-3) a été étudiée. Cette fonction peut montrer, en utilisant l'équation d'Arrhenius (Eq. 3-9), les énergies d'activation impliquées dans le mécanisme de gonflement en supposant que la cinétique de gonflement serait différente avant et après le début du processus de gélification. La cinétique de gonflement a été caractérisée par la quantité d'eau absorbée par seconde, et est concrétisée par la pente ( $q_w$ ) de la régression linéaire obtenue à partir de la courbe du taux de gonflement ( $Q_t$ ) en fonction du temps (Figure 38) selon l'Eq.3-9 suivante.

$$q_w = k_0 \cdot e^{-E_a/RT} \quad \text{Eq. 3-9}$$

Où l'équation 3-10 suivante

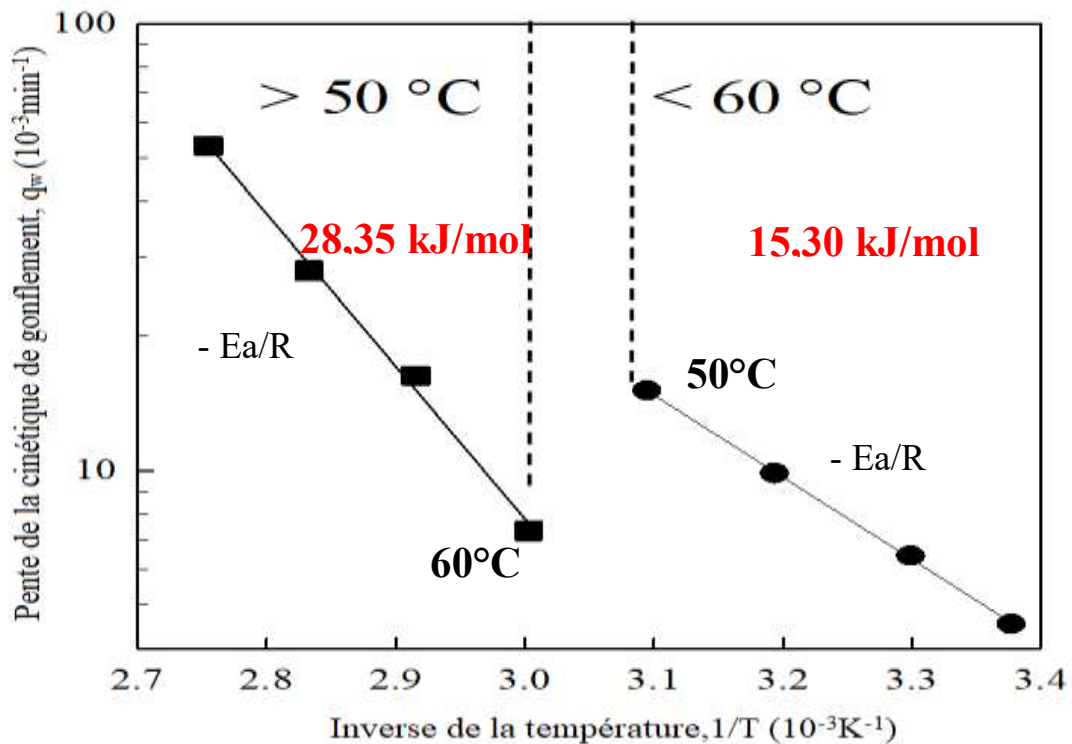
$$\text{Ln}(q_w) = \text{Ln}(k_0) - \frac{E_a}{R} \cdot \left(\frac{1}{T}\right) \quad \text{Eq. 3-10}$$

représente une fonction linéaire de l'inverse de la température définissant le facteur  $E_a/R$  comme la pente.  $R = 8,314 \text{ J/K/mol}$  étant la constante des gaz parfaits,  $E_a$  : l'énergie d'activation et  $k_0$  : la vitesse de gonflement dans des conditions où le phénomène de gonflement se produit librement, c'est-à-dire que  $E_a$  est nulle ou sa valeur absolue est très faible et  $T$  (température) très élevée. La figure 38 montre la cinétique d'absorption d'eau par les graines pour une plage de température de 23 à 90 °C. L'absorption augmente linéairement avec une pente ( $q_w$ ) qui augmente lorsque la température augmente et commence à se stabiliser lorsque le poids total des graines double à peu près pour la plupart des tests. La cinétique de gonflement est indiquée par la pente (lignes en tirets et la ligne continue) sur la figure 38. Il a fallu 50 et 15 min pour doubler à peu près le poids des graines à respectivement 50 et 90 °C.



**Figure 38** : Evolution du taux de gonflement des grains de niébé en fonction du temps à différentes températures de chauffage

La figure 38 montre l'évolution temporelle du gonflement des grains de niébé à différentes températures : a) pour les températures inférieures ou égales à 50 °C, b) pour les températures supérieures ou égales à 60 °C. Les lignes en tirets et la ligne continue représentent la régression linéaire des données avant que la cinétique n'atteigne la stabilité. Les pentes de la cinétique de gonflement ( $q_w$ ) de la figure 38 ont été reportées sur la figure 39 ci-dessous en fonction de l'inverse de la température ( $1/T$ ) et montrées en échelle semi-logarithmique suivant l'Eq.3-10.



**Figure 39** : Variation de la cinétique de gonflement des graines de niébé chauffées à différentes températures

Les résultats montrent clairement deux domaines thermiques de la cinétique de gonflement caractérisés par leurs facteurs de pente  $E_a/R$ . Il faut souligner qu'en principe, il devrait y avoir une seule pente  $E_a/R$ . Pour des températures inférieures à 60 °C et supérieures à 50 °C, la pente donne une énergie d'activation de respectivement 15,30 kJ/mol et 28,35 kJ/mol. Cette différence est visible sur la figure 39 sous forme de bond entre les deux températures (50 et 60 °C). Le gonflement des graines nécessite plus d'énergie lorsque la température passe de 50 à 60 °C. Cette énergie supplémentaire pourrait servir aux réactions physico-chimiques qui peuvent se produire à une température comprise entre 50 et 60 °C pour amorcer le processus de cuisson (Tolkach et Kulozik, 2007). La littérature rapporte que, le phénomène de gélatinisation de l'amidon se déroule à partir d'une température supérieure à 55 °C et le phénomène de dénaturation des protéines commence à une température supérieure ou égale à 60 °C. Ces deux phénomènes caractérisent la cuisson des produits agroalimentaires dont les graines de niébé (Tolkach et Kulozik, 2007; Coffigniez et al., 2019). Ainsi, la cuisson des graines à une température supérieure à 60 °C n'aurait que des effets cinétiques, par contre à des températures



inférieures à 50 °C les graines ne doivent pas être considérées comme en cours de cuisson car leur état de gonflement est dû aux phénomènes d'osmose et de capillarité.

## Conclusion

Les graines de niébé proviennent de plusieurs variétés dont la taille, le poids, la texture de la pellicule et la composition en sont les attributs spécifiques. Les graines sont cuites lorsque les réactions physiques et chimiques endogènes sont effectuées. Par conséquent, il apparaît que l'activation des réactions de dénaturation des protéines et de gélatinisation de l'amidon soit le point de départ de la cuisson des graines, bien qu'avant ces réactions, les graines absorbent de l'eau pendant la cuisson à 95 °C. Le temps de cuisson des graines se situe entre 75 et 90 min, car durant cette période, il a été observé que l'indice d'élasticité a fortement diminué tandis que l'indice de viscosité a fortement augmenté. De plus juste avant, c'est-à-dire entre 30 et 75 min, les indices d'élasticité et de viscosité sont pratiquement constant et caractérisent ainsi la transition du processus de cuisson. Cette transition traduit le déroulement des réactions physico-chimiques dont le phénomène de gélatinisation. La détermination de ces grandeurs physiques a été possible grâce à l'exploitation d'une fonction exponentielle étirée et d'une asymptotique pour ajuster le comportement de fluage de l'échantillon après le test de compression. Les paramètres d'ajustement sont respectivement corrélés aux forces appliquées dans le régime linéaire. Ainsi, il est déduit que ces indices de viscoélasticité sont en corrélation avec la transition de la réaction de cuisson. La processus d'absorption d'eau par les graines de niébé a été caractérisée par la quantité d'eau absorbée par unité de temps et s'est avérée dépendante de la température. La cinétique d'absorption d'eau et la température ont permis de déterminer l'énergie d'activation du processus de cuisson selon la loi d'Arrhenius. Le coefficient d'énergie d'activation est de 28,35 kJ/mol au-dessus de 60 °C et de 15,30 kJ/mol pour des températures inférieures à 50 °C. Si traditionnellement les graines sont cuites à des températures voisines de la température d'ébullition de l'eau, ces résultats montrent que la cuisson serait possible à plus basse température mais au-dessus de 60 °C. Cela fera économiser de l'énergie.

En perspective, ce travail pourrait se poursuivre pour mettre en évidence l'influence du milieu de cuisson (sel, pH, sucre, etc.) et d'autres traitements physiques des semences (de la récolte à la cuisson) sur la cuisson des graines de niébé. Cette influence peut s'observer aussi bien dans le temps de cuisson que dans le comportement de compression mécanique des graines de niébé. Ces réactions vont conduire à l'obtention de nouvelles textures alimentaires commercialement acceptable avec une réduction de l'énergie de cuisson.

**Chapitre 4 : Impacts des pré-  
traitements de trempage et  
de dépelliculage des graines  
de niébé sur quelques  
qualités technologiques et  
nutritionnelles de la purée  
« Adowè »**

## Introduction

Le niébé, à l'instar des graines de légumineuses constitue une source protéino-énergétique, de minéraux et de vitamines. Cependant il contient également des facteurs antinutritionnels qui rendent son utilisation limitée dans l'alimentation. On distingue entre autres les tanins (Reddy *et al.*, 1985), l'acide phytique (Urbano *et al.*, 2000) et les oligosaccharides provoquant des flatulences (Singh, 1988 ; Udensi *et al.*, 2007).

Des études ont rapporté que les facteurs antinutritionnels empêchent une bonne assimilation des nutriments. Phillippy (2003) a rapporté que l'acide phytique chélate avec certains minéraux alimentaires, les protéines et l'amidon pour réduire leurs biodisponibilités. De ce fait, l'acide phytique est considéré comme un antinutriments important. Sa grande capacité à réduire l'absorption des micronutriments, notamment des minéraux et oligoéléments dans l'intestin, peut conduire à des déficiences en calcium, fer, magnésium et zinc. Reddy *et al.* (1985) ont montré que les tanins inhibent les enzymes digestives et réduisent ainsi la digestibilité d'un nombre important des nutriments, en particulier les protéines et les glucides. De plus, l'une des principales raisons pour lesquelles les légumineuses ne jouent pas un rôle majeur dans la nutrition humaine et animale, est la présence des  $\alpha$ -galactosides (raffinose, stachyose et verbascose) dans les graines de légumineuses (Wang *et al.*, 2003).

Cependant, certaines technologies de traitement du niébé visant à réduire ou éliminer les facteurs antinutritionnels apparaissent comme une meilleure façon de traiter ce problème. Ainsi, Chi-Fai *et al.* (1997) et Mubarak (2005) ont rapporté que différentes méthodes traditionnelles de transformation et de traitements tels que le dépelliculage, le trempage, la cuisson, la fermentation et la germination ont été utilisés pour améliorer la qualité nutritionnelle des légumineuses alimentaires à des divers degrés.

En effet, certaines de ces méthodes de traitement et de transformation sont pratiquées dans la production de la purée de niébé « Adowè ». Les opérations de trempage, de dépelliculage et de cuisson constituent les bases du procédé de production de la purée traditionnelle et ancestrale « Adowè ». La plupart des travaux ont été menés sur l'effet du trempage et de la germination sur la qualité nutritionnelle des légumineuses, mais les informations sur l'effet d'une combinaison de processus tels que le trempage, le dépelliculage et la cuisson sur l'amélioration de la qualité nutritionnelle des légumineuses sont rares. Par conséquent, dans la présente étude, l'objectif principal est d'étudier les effets de l'application de ces différentes

opérations combinées (trempage, dépelliculage et cuisson) sur la qualité nutritionnelle de la purée.

## 4.1 Matériel végétal et Méthodologie

### 4.1.1 Différents types d'échantillons

Deux variétés de niébé, l'une provenant du Togo (Afrique de l'Ouest) et l'autre de l'île de Madagascar (Côte Sud-Est de l'Afrique), ont été identifiées comme les plus utilisées dans la préparation de la purée de niébé dépelliculé ou Adowè et ont fait l'objet de la présente étude. Ces variétés sont caractérisées par une couleur beige, de petites et/ou moyennes tailles, de téguments légèrement rugueux et de forme arrondie avec une masse moyenne située entre 18,65 et 21,88 g pour 100 graines. Les graines de la variété du Togo ont un œil de couleur rose bordée de noir et une forme plus aplatie (Figure 40 B) tandis que celles de Madagascar ont un œil noir (Figure 40 A). Le matériel d'étude est constitué de : purée de niébé dépelliculé Adowè d'origine togolaise (cuisson sans ajout de natron ou potasse de cuisine et du sel) (Figure 40 C), de différentes purées préparées au laboratoire à partir de la variété de niébé d'origine malgache ayant subi deux types de traitements de dépelliculage, de la variété de niébé entier d'origine togolaise qui a servi à la préparation de Adowè du Togo, de la variété de niébé entier d'origine malgache, de la variété de niébé dépelliculé d'origine malgache et de l'pellicules de la variété de niébé d'origine malgache.



**Figure 40** : Photos de la graine de niébé provenant de Madagascar (A), la graine de niébé provenant du Togo (B), la purée de la graine de niébé "Adowè" provenant du Togo (C)

## **4.1.2 Préparation des échantillons pour analyse**

### **4.1.2.1 Procédés de production de la purée de niébé dépelliculé Adowè**

Il s'agit de la purée de niébé dépelliculé (Adowè) qui est préparée au Togo avec la méthode traditionnelle. Pour des raisons liées à notre étude, cette préparation a été effectuée sans ajout du sel et de natron.

### **4.1.2.2 Procédés de production des différentes purées de niébé dépelliculé Adowè au laboratoire**

Le niébé d'origine malgache, acheté sur le marché local en France, a servi pour la préparation des différentes purées. Les différentes préparations ont été regroupées en deux séries de traitements technologiques majeures suivant le traitement des graines de niébé avant la cuisson. Dans la première série de traitement technologique, les graines sont trempées sans dépelliculage et dépelliculées ensuite après chaque temps de trempage défini.

Dans la deuxième série de traitement technologique, les graines sont dépelliculées et ensuite trempées selon les différents temps définis.

#### **4.1.2.2.1 Trempage - dépelliculage**

##### **4.1.2.2.1.1 Première série de traitement technologique**

Avant trempage, les graines de niébé sont triées et pesées (20 g) avant d'être trempées à raison de (1/5 poids/volume) à différents temps à savoir : 10 h, 14 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h et 120 h dans de l'eau déminéralisée à température ambiante (20– 23 °C ; pH 5,8). Ensuite, les graines sont dépelliculées après les différents temps de trempage.

##### **4.1.2.2.1.2 Deuxième série de traitement technologique**

Les graines de niébé sont préalablement dépelliculées dans une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 1% par l'opération de blanchiment, avant de subir les mêmes temps de trempage que celles de la première série.

Les différentes eaux de trempage ont été recueillies pour étude des pertes de matières pour les deux séries de traitement technologique.

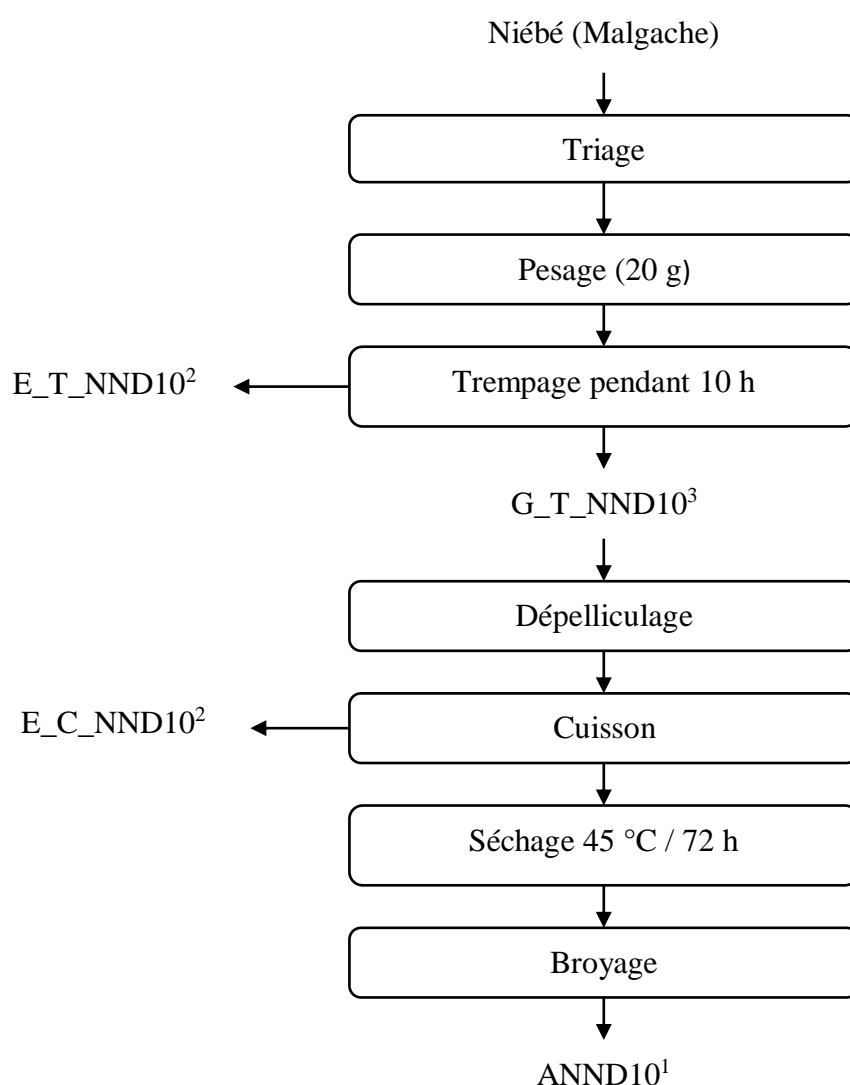
#### **4.1.2.2.2 Opération de Cuisson**

Les graines issues des deux séries de traitement subissent ensuite une opération de cuisson dans de l'eau déminéralisée à 100 °C, à raison de (1/5 poids/volume) pendant 17 minutes, le temps

où 80% des graines s'éclatent d'elles-mêmes. L'eau de cuisson a été recueillie pour étude des pertes de matières.

Les différentes graines cuites obtenues sont ensuite séchées dans une étuve réglée à 45 °C pendant 72 h. Après étuvage, elles sont broyées finement (diamètre : 250 à 100 µm) dans un mini broyeur de laboratoire. Les échantillons sont ainsi constitués et prêts aux différentes analyses.

Les figures 41, 42, 43 et 44, résument les différentes étapes de préparation des échantillons.



**Figure 41** : Procédés d'obtention des différents échantillons issus du niébé non dépelliculé avant trempage de 10 h (Première série de traitement technologique)

(<sup>1</sup>) : Echantillons destinés au dosage chimique en vue d'évaluer l'effet des traitements technologiques.

(<sup>2</sup>) : Echantillons destinés à l'évaluation des pertes de matières

(<sup>3</sup>) : Echantillons destinés à l'étude du taux d'absorption d'eau.

### **Identification des abréviations de la figure 41**

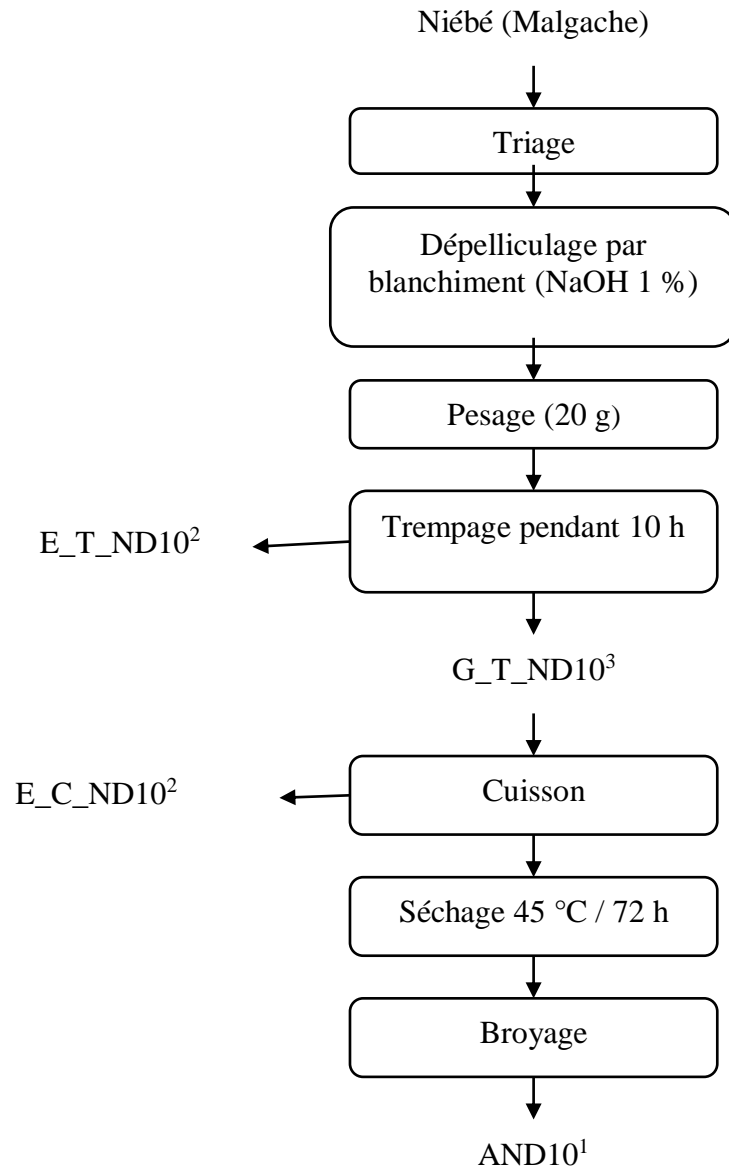
**G\_T\_NND10** : Graines issues du Trempage de 10 h du Niébé Non Dépelliculé. Il y a 7 échantillons et seul le temps de trempage diffère (G\_T\_NND10,...14,...24,...48,...72,...96,...120).

**E\_T\_NND10** : Eau provenant du Trempage de 10 h du Niébé Non Dépelliculé. Il y a 7 échantillons et seul le temps de trempage diffère (E\_T\_NND10,...14,...24,...48,...72,...96,...120).

**E\_C\_NND10** : Eau provenant de la Cuisson du niébé dépelliculé après un trempage de 10 h du Niébé Non Dépelliculé. Il y a 7 échantillons et seul le temps de trempage diffère (E\_C\_NND10, ...14, ...24, ...48, ...72, ...96, ...120).

**ANND10** : Adowè de niébé dépelliculé après trempage du Niébé Non Dépelliculé de 10 h. Il y a 7 échantillons et seul le temps de trempage diffère (ANND10, ...14, ...24, ...48, ...72, ...96, ...120).





**Figure 42** : Procédés d'obtention des différents échantillons issus du niébé dépéliculé avant trempage de 10 h (Deuxième série de traitement technologique)

(<sup>1</sup>) : Echantillons destinés au dosage chimique en vue d'évaluer l'effet des traitements technologique.

(<sup>2</sup>) : Echantillons destinés à l'évaluation des pertes de matières

(<sup>3</sup>) : Echantillons destinés à l'étude du taux d'absorption d'eau.

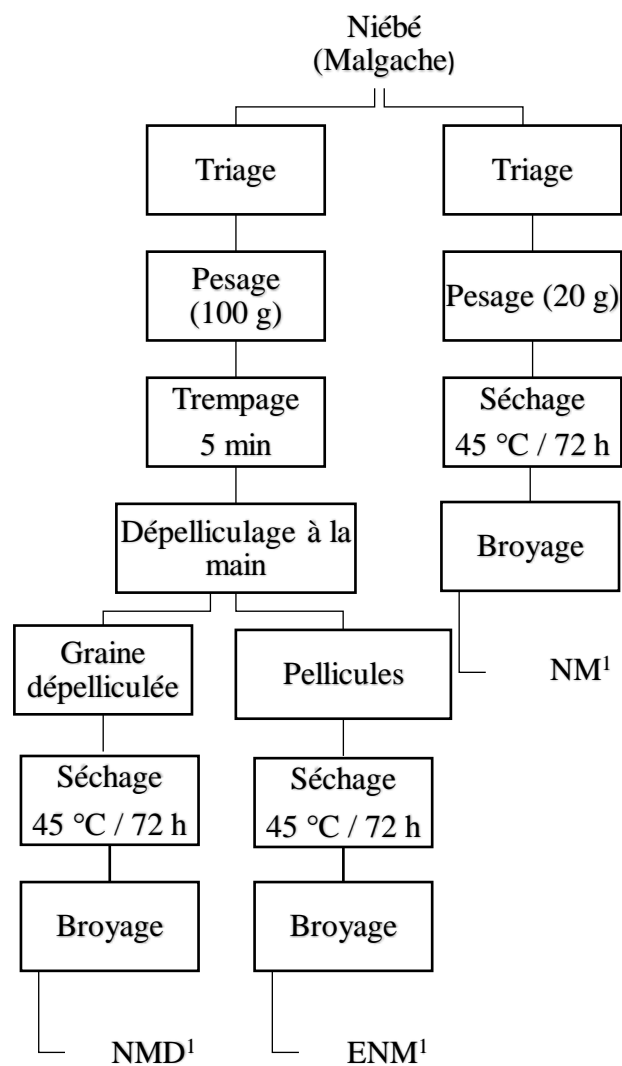
#### **Identification des abréviations de la figure 42**

**G\_T\_ND10** : Graines issues du trempage de 10 h du Niébé Dépelliculé. Il y a 7 échantillons et seul le temps de trempage diffère (G\_T\_ND10, 14...24,...48,...72,...96,...120).

**E\_T\_ND10** : Eau provenant du trempage de 10 h du Niébé Dépelliculé. Il y a 7 échantillons et seul le temps de trempage diffère (E\_T\_ND10,...14,...24,...48,...72,...96,.....120).

**E\_C\_ND10** : Eau provenant de la cuisson du Niébé Dépelliculé après un trempage de 10 h. Il y a 7 échantillons et seul le temps de trempage diffère (E\_C\_ND10, ...14, ...24, ...48, ...72, ...96, ...120).

**AND10** : Adowè de Niébé Dépelliculé après trempage de 10 h. Il y a 7 échantillons et seul le temps de trempage diffère (AND10, ...14, ...24, ...48, ...72, ...96, ...120).



**Figure 43** : Procédés d'obtention des différents échantillons du niébé provenant de Madagascar

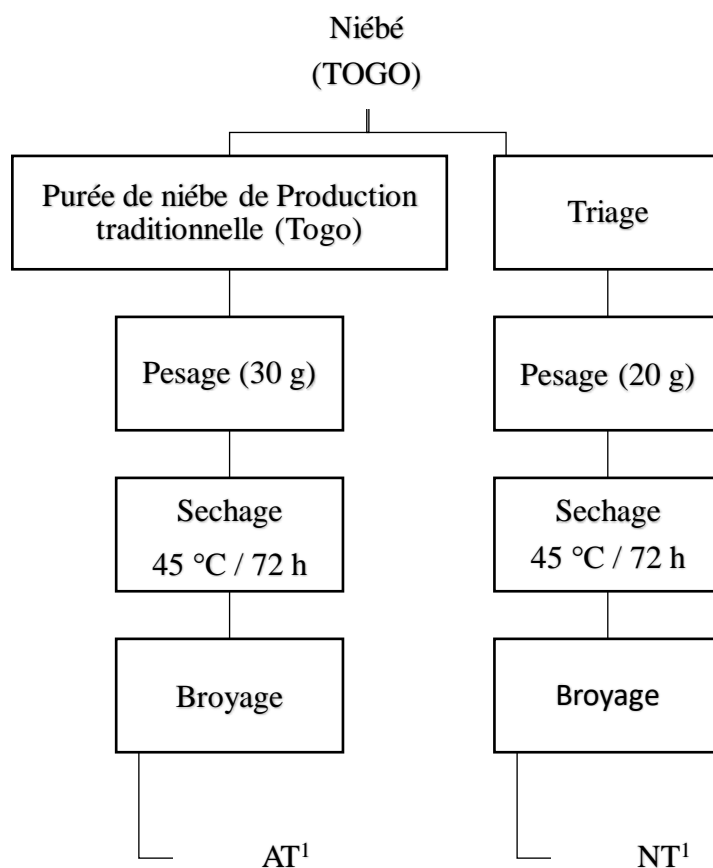
(1) : échantillons destinés au dosage chimique en vue d'évaluer l'effet des traitements technologique

#### Identification des abréviations de la figure 43

NM : Niébé d'origine Malgache acheté en France.

NMD : Niébé d'origine Malgache acheté en France, Dépелliculé.

ENM : Pellicules ou Enveloppe de Niébé d'origine Malgache acheté sur le marché local en France.



**Figure 44** : Procédés d'obtention des différents échantillons du niébé et de la purée Adowè provenant du Togo

(<sup>1</sup>) : échantillons destinés au dosage chimique en vue d'évaluer l'effet des traitements technologique.

#### Identification des abréviations de la figure 44

AT : Adowè traditionnel provenant du Togo (sans sel et sans natron).

NT : Niébé provenant du Togo ayant servi à préparer Adowè

## 4.2 Méthode d'analyse

### 4.2.1 Analyses technologiques

#### 4.2.1.1 Indice de gonflement

L'indice de gonflement au trempage correspond au rapport entre la masse des graines de niébé après trempage et celle des graines avant trempage, suivant la méthode décrite par Abecassis (1991).

Après chaque opération de trempage l'indice de gonflement est calculé selon la formule :

$$\mathbf{IG} = \frac{\mathbf{m_f}}{\mathbf{m_i}} \quad \mathbf{Eq. 4-1}$$

Avec :

IG : Indice de gonflement  
m<sub>f</sub> : masse après trempage  
m<sub>i</sub> : masse avant trempage

#### 4.2.1.2 Détermination de la teneur en matières sèches

La méthode utilisée est celle décrite par AFNOR (2007) qui consiste en une dessiccation de l'échantillon à une température de 103 ± 2 °C puis introduction de 10 g d'échantillon dans un verre de montre sec préalablement taré et séchés à l'étuve pendant 48 h à 103 °C jusqu'à l'obtention d'un poids constant (écart < 2 mg).

La teneur en eau est donnée par la relation suivante :

$$\mathbf{H\%} = \frac{(\mathbf{m_1-m_2})}{(\mathbf{m_1-m_0})} \times \mathbf{100} \quad \mathbf{Eq. 4-2}$$

Avec :

H % : teneur en eau exprimée en grammes pour 100 g d'échantillon  
m<sub>0</sub> : masse en gramme de la capsule vide  
m<sub>1</sub> : masse en gramme de la capsule avec l'échantillon avant étuvage  
m<sub>2</sub> : masse en gramme de la capsule avec l'échantillon après étuvage

La teneur en matière sèche (MS %) est déduite de celle de l'humidité, selon la relation

$$\mathbf{MS \% = 100-H \%} \quad \mathbf{Eq.4-3}$$

Ensuite, la perte de matière sèche par rapport à l'extrait sec total des graines durant les différents traitements est donnée par :

$$\mathbf{P = Pme \times V / (m \times Ext. sec)} \quad \mathbf{Eq. 4-4}$$

Avec:

P : Perte durant le traitement en g/ 100g MS

Pme : Perte de matière sèche dans l'eau (trempage ou cuisson) en g/100ml d'eau

V : Volume d'eau de trempage ou de cuisson en ml

m : masse de l'échantillon en g

Ext.sec : Extrait sec total de l'échantillon en %

A chaque étape de préparation (trempage et cuisson), la mesure de la teneur en matière sèche des eaux après différents temps de trempage a été effectuée pour déterminer les pertes en matières au cours des préparations.

## **4.2.2 Analyses chimiques**

### **4.2.2.1 Détermination de la teneur en cendres (ISO 2171 : 2007)**

C'est le résidu obtenu après incinération de 5 g de farine à 900 °C pendant 2 heures.

La teneur en cendres a été calculée selon la formule :

$$\mathbf{Cendre \% = \frac{(m_1 - m_2)}{m_0(100-H)} \times 100} \quad \mathbf{Eq. 4-5}$$

avec :

m<sub>1</sub> : masse de la capsule remplie avant incinération en g

m<sub>2</sub> : masse de la capsule remplie après incinération en g

m<sub>0</sub> : masse de la prise d'essai en g

H : teneur en eau exprimée en pourcentage

#### **4.2.2.2 Dosage des éléments minéraux**

##### **4.2.2.2.1 Minéralisation acide par micro-onde et dosage par l'ICP-MS**

Environ 0,5 g d'échantillons sont pesés dans des réacteurs du micro-ondes (MARS 2) suivi d'ajout de 10 ml d'acide nitrique 67-69 % ; de haute pureté (réf : A509-P500 / Fisher Scientific). Les réacteurs sont ensuite fermés et agités légèrement toutes les 2 min pendant 30 min puis disposés en équilibre dans le four micro-ondes. Le programme « Plant Material » est sélectionné puis lancé. L'évolution de la minéralisation est suivie sur l'écran du micro-ondes à travers les variations de la température et de la puissance qui s'achèvent après 25 min. L'extrait est ensuite dilué et ajusté au volume dans un tube en polypropylène. La concentration en éléments minéraux dans les extraits a été déterminée à partir de trois échantillons répétés à l'aide de la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) (Ataro *et al.*, 2008 ; Belane et Dakora, 2011).

L'échantillon est introduit par vaporisation au plasma d'argon puis placé à une température de 200 °C. Ces excitations thermiques entraînent des phénomènes d'ionisation et de séparation des éléments, permettant ainsi de caractériser et de détecter chaque élément selon les analyseurs utilisés.

Après digestion acide de la matière, les contenus des réacteurs du micro-ondes sont transvasés dans des fioles jaugées de 50 ml puis complétés à l'eau Milli-Q jusqu'au trait de jauge. La solution obtenue est diluée 100 fois pour analyse.

Une solution étalon multiélément avec certification d'analyse « ICP-multi-element standard solution / Merck Certipur KGaA » à 100mg/L de concentration de 24 éléments minéraux différents (Al ; B ; Ba ; Be ; Bi ; Ca ; Cd ; Co ; Cr ; Cu ; Fe ; Ga ; K ; Li ; Mg ; Mn ; Na ; Ni ; Pb ; Se ; Sr ; Te ; Ti ; Zn) a été prélevée puis diluée au 10<sup>ème</sup> pour constituer la solution mère de la gamme étalon. L'acquisition et le traitement des données ont été effectués par le logiciel Syngistix.

##### **4.2.2.3 Dosage d'acide phytique**

L'acide sulfosalicylique forme en solution un complexe coloré (violet en milieu acide) avec le fer. Ce complexe se décolore en présence d'acide phytique par captation du fer, qui a un pouvoir chélatant plus fort que celui de l'acide sulfosalicylique. La méthode utilisée est celle de Latta et Eskin (1980), modifiée par Vaintraub et Lapteva (1988).

Environ 300 mg d'échantillon sont pesés dans des tubes de 10 ml. Pour chaque série d'analyses, il est également pesé 300 mg de farine témoin (farine de blé blanche). 5 ml de HCl à 2,4 % sont ensuite ajoutés à chaque tube. La solution des tubes est laissée au repos pendant 2 h à

température ambiante en les agitant pendant 15 s toutes les 10 min. Au bout de 2 h, les tubes sont centrifugés pendant 45min à 4500 rpm, à 25 °C puis 2 ml de surnageant sont pipetés dans des tubes de 10 ml puis conservés au frigo pour analyses ultérieures (si nécessaire). Ensuite, les surnageants sont dilués 25 fois dans de nouveaux tubes de 10 ml en pipetant 200 µl de surnageant et en ajoutant 4,8 ml d'eau distillée. Chaque tube est agité pendant 5 secondes et le contenu de chaque tube est filtré par un filtre de 0,22 µm de diamètre. Pour réaliser le dosage, un volume de 3,75 ml de la gamme étalon ou de l'extrait, est prélevé et transféré dans des tubes de 10 ml auquel est ajouté un volume de 1,25 ml du réactif Rose de Wade. Le tout est mélangé pendant 5 s au vortex et centrifugé pendant 5 min à 4500 rpm (10621 g) à 20 °C. Le surnageant est ensuite filtré dans un filtre de diamètre 0,22 µm, dans des tubes de 10 ml. La lecture de l'absorbance à 500 nm est effectuée contre un blanc d'eau distillée. La préparation de la gamme étalon pour le dosage d'acide phytique se réalise par une solution mère de phytates à 1,5 mM. Pour ce faire, une quantité de 13,4 mg de phytates (acide phytique) est dissoute dans 9,67 ml d'eau distillée. Cette solution est ensuite conservée à 4 °C au frigo si elle n'est pas utilisée dans l'immédiat. La solution fille est obtenue par le mélange de 1500 µl de solution mère de phytates à 1,5 mM avec 600 µl d'acide chlorhydrique à 2,4 % et 13 ml d'eau distillée, de manière à obtenir l'équivalent d'une dilution de la solution mère au 1/10<sup>ème</sup> dans de l'acide chlorhydrique à 0,1 %. La solution d'acide chlorhydrique 0,1 % s'obtient par le prélèvement de 20 ml d'acide chlorhydrique à 2,4 % qui est ensuite dilué au 25<sup>ème</sup> dans 500 ml d'eau distillée. Cette solution est utilisée pour diluer la gamme étalon.

### Calculs et expression des résultats

En reportant les points de la gamme étalon sur un graphique (avec en abscisse la concentration en phytates et en ordonnée la densité optique mesurée), la droite de régression linéaire a pour équation :

$$DO_{500\text{ nm}} = a. [\text{Acide Phytique}] + b \quad \text{Eq. 4-6}$$

Après détermination de la valeur des paramètres « a » et « b », la teneur en acide phytique a été déterminée comme suit :

$$\text{Acide Phytique} = \frac{((DO_{500\text{ nm}} - b) \cdot D)}{(a \cdot ms)} \quad \text{Eq. 4-7}$$



Avec:

[Acide Phytique] : concentration en acide phytique en  $\mu\text{g/ml}$

Acide phytique : quantité d'acide phytique en mg / g de matière sèche

$\text{DO}_{500\text{ nm}}$  : Densité Optique ou absorbance de l'échantillon à 500 nm

b : ordonnée à l'origine de la droite

D: facteur de dilution de l'échantillon :  $5 \times 25$  pour les extractions avec 5 ml d'HCl 2.4%

a: pente de la droite de régression (toujours négative)

ms : masse sèche initiale de l'échantillon à analyser (en mg)

#### 4.2.2.4 Dosage des phénols totaux

La méthode utilisée a été établie et adaptée par plusieurs auteurs (Singleton et Rossi, 1965 ; Boizot et Charpentier, 2006 ; Michodjehoun-Mestres *et al.*, 2009). Les phénols sont extraits à l'aide d'un mélange acétone/eau (70/30), puis dosés par mesure spectrophotométrique après réaction avec le réactif de Folin-Ciocalteu. En milieu basique, le réactif de Folin oxyde les groupements phénols présents dans l'échantillon. Les produits de réduction de couleur bleue, sont un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Ribéreau-Gayon, 1968), présentant un maximum d'absorption comprise entre 620 et 760 nm, dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'échantillon. Les teneurs en phénols totaux sont exprimées en équivalents d'acide gallique (acide 3,4,5-trihydroxybenzoïque). Dans un flacon de verre de 20 ml, on pèse environ 0,1 g de poudre pour chaque échantillon puis, ajout d'un volume de 10 ml de la préparation acétone/eau 70/30 (v/v) qui constitue le solvant d'extraction. (Pour la préparation du mélange acétone/eau, il faut prélever 350 ml d'acétone puis ajouter 150 ml d'eau). Le mélange échantillon et solvant d'extraction est agité pendant 1 h à la température ambiante sur un agitateur magnétique (Plaque chauffante de marque Fisher Brand). Le mélange est transvasé dans des tubes de 10 ml, puis centrifuger pendant 5 min à 4500 rpm. Après centrifugation le surnageant constitue l'extrait brut. Dans un tube à vis de 10ml, nous ajoutons 50  $\mu\text{l}$  de l'extrait brut et 450  $\mu\text{l}$  de méthanol pour le dosage au Folin-Ciocalteu. Un volume de 50  $\mu\text{l}$  du solvant d'extraction (acétone/eau 70/30 v/v) est déposé dans un tube à vis ; puis ajouté de 450  $\mu\text{l}$  de méthano et dosé au Folin-Ciocalteu Dans les tubes à vis qui contiennent soit un volume de 500  $\mu\text{l}$  du mélange extrait brute et méthanol ou soit un volume de 500  $\mu\text{l}$  du méthanol ( blanc), 2,5 ml du réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 1/10<sup>e</sup> dans de l'eau distillée) sont ajoutés. Le mélange réactionnel est agité puis incubé pendant 2 min à la température ambiante. Après incubation à température ambiante, un volume de 2,5 ml de

carbonate de sodium est ajouté puis agité et le mélange est incubé une deuxième fois à 50 °C pendant 30 min à l'étuve MEMMERT uf55. Les tubes sont ensuite refroidis rapidement dans l'eau froide à 2 °C. Le zéro du spectromètre est fait avec de l'eau distillée et l'absorbance est mesurée à la longueur d'onde de 760 nm contre de l'eau distillée. Il faut noter que le risque chimique lié à la mise en œuvre du protocole de dosage par le réactif de Folin-Ciocalteu devient acceptable à condition de réaliser toutes les manipulations sous sorbonne / hotte à parois latérales et fermeture frontale. Le dosage pour l'étalonnage se fait en prélevant le volume indiqué de chaque dilution et en complétant avec du méthanol pour obtenir toujours 500µl de volume total dans le tube avant de rajouter le réactif de Folin-Ciocalteu dilué.

Une solution mère d'acide gallique de concentration massique à 515 mg/l dans du méthanol par pesée de 0,103 g d'acide gallique dans 200 ml de méthanol est préparée. Cette solution mère est ensuite diluée 20 fois pour obtenir 25,75 mg/l de solution fille (2,5 ml de la solution mère dans 50 ml de méthanol). La solution fille est prélevée dans 10 différents tubes à vis ; 0, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 300, 400 et 500 µl puis complétée à 500 µl avec du méthanol dans chaque tube. Le dosage est réalisé au Folin-Ciocalteu.

### **Calculs et expression des résultats**

En reportant les points de la gamme étalon sur un graphique (avec en abscisse la masse en polyphénols totaux et en ordonnée la densité optique mesurée), la droite de régression linéaire à pour équation :

$$\mathbf{DO_{760\text{ nm}} = a. (masse\ polyphénols\ totaux) + b} \quad \mathbf{Eq.\ 4-8}$$

Après détermination de la valeur des paramètres « a » et « b », la masse de polyphénols totaux dans la prise d'échantillon est déterminée.

#### **4.2.2.5 Dosage des tannins**

La technique utilisée est décrite selon la Norme Française V 03-751 (1985). Les tanins sont extraits par le diméthylformamide (DMF) sous agitation. Après centrifugation, et addition de

citrate d'ammonium et de fer (III) et d'ammoniaque à une partie aliquote du surnageant, la mesure spectrophotométrique de l'absorbance de la solution obtenue est faite à 525 nm. La teneur en tanin est déterminée en utilisant une courbe d'étalonnage préparée à partir de l'acide tannique. Une quantité d'1g d'échantillon est pesée dans un flacon de verre de 22 ml. Un volume de 20 ml de la solution de diméthylformamide est versé dans le flacon de verre à la pipette. Le flacon est bouché hermétiquement et agité pendant 60 min à l'aide de l'agitateur (agitation 6 de la marque Fisher Brand) , puis centrifugé pendant 5 min à 4500 rpm. Le surnageant est prélevé puis dosé. Un volume de 1 ml du surnageant est prélevé dans un premier temps et introduit dans un tube à essais, puis un volume de 6 ml d'eau déminéralisée et un volume de 1 ml de la solution d'ammoniaque sont ajoutés et le tout est agité au vortex.

Un autre volume de 1 ml du surnageant d'extrait brut est ensuite prélevé dans un autre tube à essai. Un volume de 5 ml d'eau déminéralisée y est ajouté puis un volume de 1ml de la solution de citrate d'ammonium et de fer. Le mélange est agité au vortex ; puis ajouté d'un volume de 1ml de la solution d'ammoniaque et agité de nouveau au vortex. Les deux solutions obtenues sont transvasées dans des cuves de mesure et l'absorbance est lue après 10 min au spectrophotomètre à 525 nm après avoir fait le zéro avec de l'eau distillée. Le résultat est la différence d'absorbance entre les deux mesures.

Il s'ensuit une préparation de 6 fioles jaugées de 20 ml avec introduction de : 0, 1, 2, 3, 4, et 5 ml de la solution d'acide tannique dans chacune. Chaque fiole est complétée à 20 ml avec la solution de diméthylformamide. La gamme d'étalonnage ainsi obtenue, est de concentration suivante : 0 ; 0.1 ; 0.2 ; 0.3 ; 0.4 ; 0.5 mg/ml, respectivement. Un volume de 1 ml de chacune de ces dilutions est introduit dans un tube à essai et ajouté successivement d'un volume de 5 ml d'eau déminéralisée, un volume de 1 ml de la solution de citrate d'ammonium et de fer. Chacune des dilutions agitées au vortex puis ajoutée d'un volume de 1 ml de la solution d'ammoniaque. Le tout est agité de nouveau au vortex et transvasé dans les cuves pour une lecture d'absorbance après 10 min, au spectrophotomètre à 525 nm après avoir fait le zéro avec de l'eau distillée.

## Calculs et expression des résultats

En reportant les points de la gamme étalon sur un graphique (avec en abscisse la masse des tanins et en ordonnée la densité optique mesurée), la droite de régression linéaire à pour équation :

$$D_{0_{525 \text{ nm}}} = a. (\text{masse tanins}) + b \quad \text{Eq. 4-9}$$

Après détermination de la valeur des paramètres « a » et « b », la teneur en tanins dans l'échantillon est déterminée.

### 4.2.2.6 Détermination de la teneur en protéines

La teneur en protéines a été déterminée selon la méthode de Kjeldahl de la norme AFNOR NF V03-050 (1970). Le facteur de conversion considéré est de 6,25.

### 4.2.2.7 Détermination de la teneur en lipides

La teneur en lipides a été déterminée suivant la norme ISO-659 (1998) avec la méthode d'extraction au Soxhlet.

### 4.2.2.8 Détermination de la teneur en glucides totaux

La teneur en glucides totaux a été obtenue par calcul selon la formule (Egan *et al.*,1981).

$$\text{Glucides totaux(\%)} = 100 - (\text{protéines(\%)} + \text{lipides(\%)} + \text{cendre(\%)} + \text{eau(\%)}) \quad \text{Eq. 4 -10}$$

La teneur en eau est négligeable car avant chaque analyse, le poids de chaque échantillon est stabilisé à l'étuve à 103 °C.

### **4.2.3 Analyses statistiques**

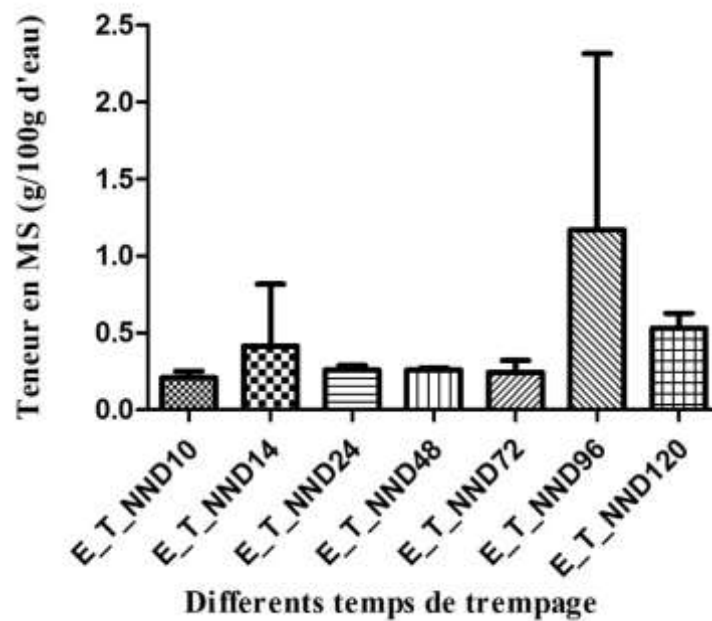
Les analyses statistiques sont exprimées en moyenne  $\pm$  écart type d'au moins trois expériences indépendantes. Les analyses ont été effectuées par le logiciel GraphPad Prism version 5.01 pour Windows (GraphPad Software, San Diego, CA, USA), en utilisant une analyse de variance unidirectionnelle (ANOVA) suivie du test de Dunnett (test de comparaisons multiples à un contrôle) et du test de Tukey (test de comparaisons multiples par paire). Une différence de  $p < 0,05$  est considéré comme statistiquement significative. Ainsi : (\* $p < 0,05$  ; \*\* $p < 0,01$  ; \*\*\* $p < 0,001$ ). L'analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée par le logiciel XLSTAT version 2016.

## 4.3 Résultats et discussion

### 4.3.1 Etude de la perte de matière en fonction des temps de trempage et de cuisson

#### 4.3.1.1 Influence de l'application de la première série de traitement technologique

La figure 45 représente l'étude de la teneur en MS de l'eau de trempage en fonction de la durée de trempage des graines non dépelliculées (E\_T\_NND).

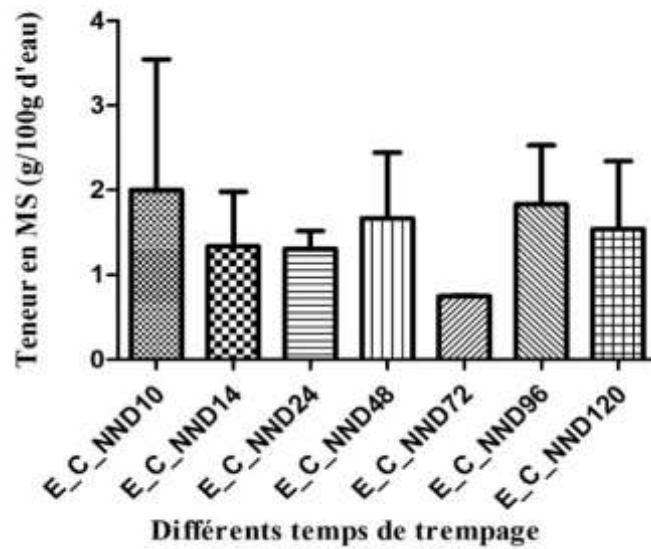


**Figure 45** : Variation des pertes de matière dans l'eau de trempage des graines non dépelliculées

La perte de matière est maximale et supérieure à 1 g pour 100 g d'eau à la 96<sup>ème</sup> heure de trempage (soit 1,2 g de matière pour 100 g d'eau, équivalent de 6,55 g /100 g MS des graines). Cependant aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'a été observée entre les traitements appliqués et entre les moyennes des différentes pertes de matières à différents temps de trempage ( $p > 0,05$ ). Les résultats montrent des pertes de trempage de 10 h, 14 h et 24 h respectivement de 1,2 g /100 g MS, 2,4 g /100 g MS et 1,5 g /100g MS, qui sont inférieures à celles, rapportées par Mebdoua (2011) sur le niébé avec les pertes en matières sèches de 2,6 g / 100 g MS, 3,87 g / 100 g MS et 3,98 g / 100 g MS respectivement durant les différents traitements de trempage pendant 8 h, 16 h et 24 h. La même remarque est faite avec les résultats de Kon, (1979) sur des haricots avec une perte de matières sèches de 2 %, 12 % et 12 % après

trempage de 5 h à 40 °C, 1 h 30 à 60 °C et 0,8 h à 90 °C, respectivement. Ces pertes sont ainsi facilitées par des températures de trempage élevées qui peuvent augmenter la dégradation de la paroi cellulaire. Les résultats montrent aussi que les pertes de matières n'augmentent pas systématiquement en fonction du temps de trempage, ce qui ne concorde pas les affirmations de Afoakwa et Yenyi (2006) selon lesquelles les pertes de matières augmentent en fonction de la durée de trempage du niébé selon un modèle non linéaire. Ces pertes sont inférieures à 2,5 % jusqu'à 72 h de trempage et relativement bas par rapport aux données bibliographiques malgré que l'eau de trempage soit légèrement acide (pH 5,8). Cette tendance peut être expliquée d'une part, par la durée de stockage des graines après récolte et la variété qui rendraient assez rigide les pellicules et par conséquent moins dégradables. Cette hypothèse trouve écho dans les conclusions des travaux de Balla et Baragé (2006) qui stipulent que les graines stockées longtemps exigent une durée plus longue lors de la cuisson et que cette dernière est influencée par la variété. D'autres bibliographies ont rapporté qu'un long stockage change le caractère physico-chimique et biochimique des téguments et cotylédons (Michael et Varriano-Marston, 1981). Ainsi la conservation des légumineuses après six mois entraîne les modifications de la qualité des graines qui deviennent plus dures et moins perméables à l'eau (Nyabyenda, 1987). D'autre part, cela démontre que les pellicules des graines réduisent les pertes de matières et jouent un rôle de barrière. Ce résultat est en accord avec les conclusions des travaux de Coffigniez *et al.* (2019) sur le rôle des parois cellulaires des graines de niébé dans la perte de matières. Ainsi la perte est importante si les parois subissent des dommages liés à la température. Les études de Luo *et al.* (2009) ont rapporté que la pellicule joue un rôle de barrière contre les pertes en MS durant le trempage du haricot. Concernant leur conclusion sur la perte plus importante en solutions acides, nos résultats ont montré le contraire.

La figure 46 ci-dessous représente la variation de la perte de matière en fonction des différents temps de trempage des graines non dépelliculées suivies de la cuisson des graines qui sont dépelliculées après trempage (E\_C\_NND).

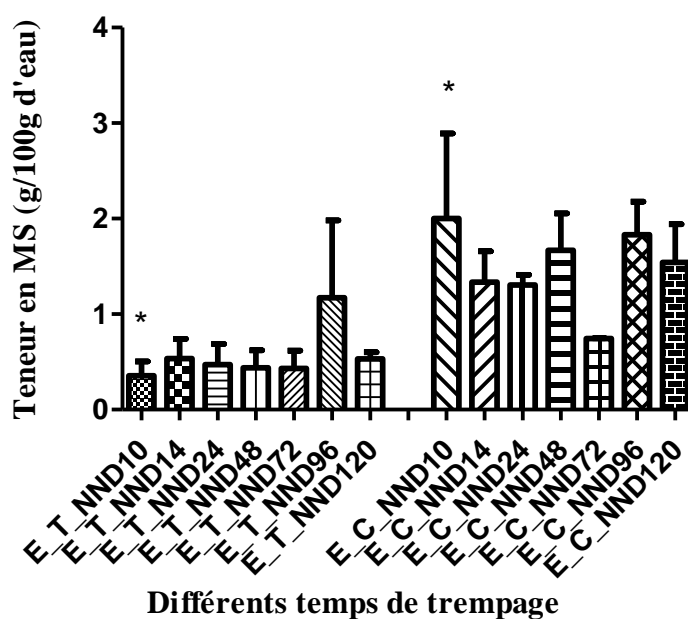


**Figure 46** : Variation des pertes de matière dans l'eau de cuisson des graines trempées non dépelliculées

Nous avons noté une perte maximale de matières à la suite de la cuisson qui a suivi les 10 premières heures de trempage avec une discrète diminution et une tendance à la stabilisation supérieure à 1 g pour 100 g d'eau sauf à la 72<sup>-ème</sup> heure. L'on observe une perte minimale estimée à 0,75 g pour 100 g d'eau et une perte maximale de 2 g pour 100g d'eau. L'étude statistique n'a révélé aucune différence significative entre les traitements. La comparaison des moyennes par le test de Tukey n'a révélé non plus de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les différentes pertes de matières dans les eaux de cuisson correspondantes aux différents temps de trempage.

La figure 47 représente la comparaison de la variation de la perte de matière obtenue entre l'eau de trempage des graines non dépelliculées et l'eau de cuisson des graines dépelliculées après trempage.





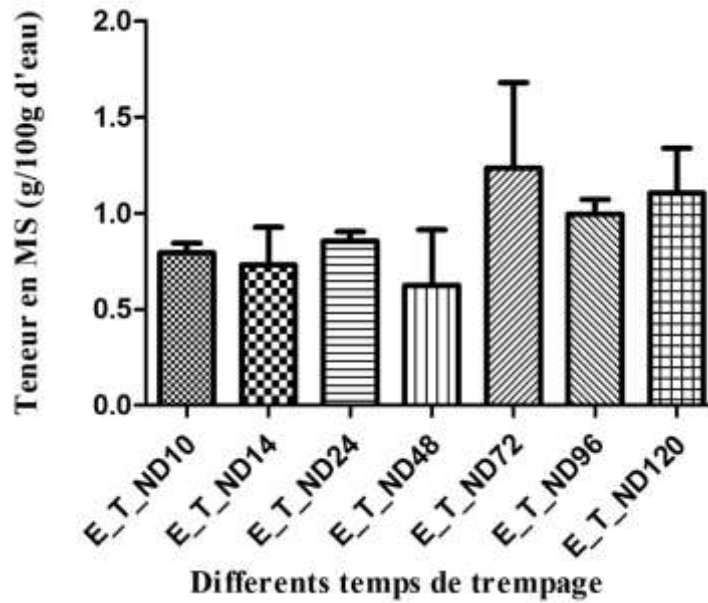
**Figure 47** : Variation des pertes de matière dans l'eau de trempage et dans l'eau de cuisson des graines non dépelliculées

(\*p < 0,05 ; \*\*p < 0,01 ; \*\*\*p < 0,001)

Quelle que soit la durée de trempage la perte de matières est plus importante dans l'eau de cuisson que dans l'eau de trempage. Cependant la perte de matières est précocement maximale dans l'eau de cuisson dès les 10 premières heures de trempage tandis qu'elle est tardive dans l'eau de trempage à la 96<sup>ème</sup> heure. L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les traitements. Le test de Dunnett effectuée entre les moyennes des pertes de trempage, a permis de noter une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les moyennes des pertes de matières dans l'eau de trempage pendant 10h et celles dans l'eau de cuisson correspondante. La perte maximale de matières dans l'eau de cuisson serait due à l'absence des pellicules et à la forte température de cuisson (ébullition) qui a fragilisé et provoqué l'éclatement des cotylédons pour libérer de la matière dans le milieu (eau). Cette affirmation est corroborée par les travaux de Kon, (1979).

#### 4.3.1.2 Influence de l'application de la deuxième série de traitement technologique

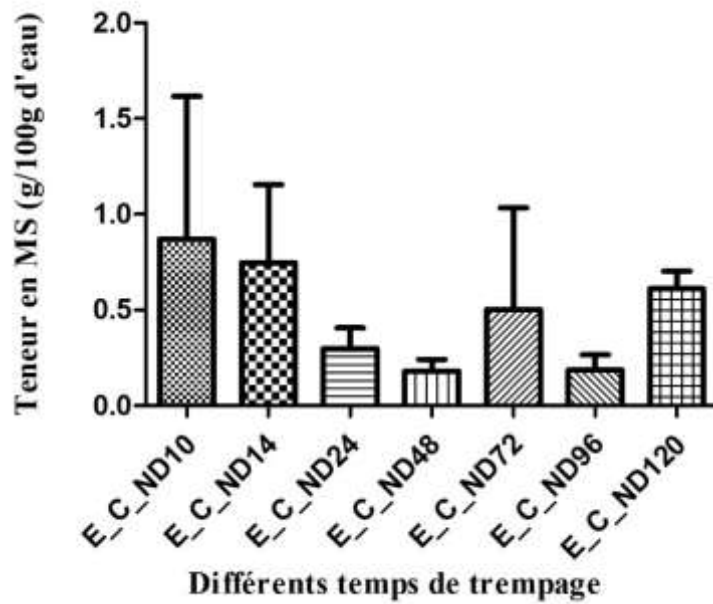
La figure 48 représente la variation de la perte de matière en fonction de la durée de trempage des graines dépelliculées (E\_T\_ND).



**Figure 48** : Variation des pertes de matière dans l'eau de trempage des graines dépelliculées

La perte de matière est inférieure à 1 g pour 100 g d'eau lorsque la durée de trempage est inférieure à 72 h, tandis qu'elle est supérieure ou égale à 1 g pour 100 g d'eau au-delà de 72 h de trempage. Les pertes varient entre 5,2 g / 100 g MS et 10,3 g /100 g MS. Cependant l'analyse de la variance ne révèle pas de différence significative entre les traitements. La comparaison des moyennes par le test de Tukey n'a révélé aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) non plus.

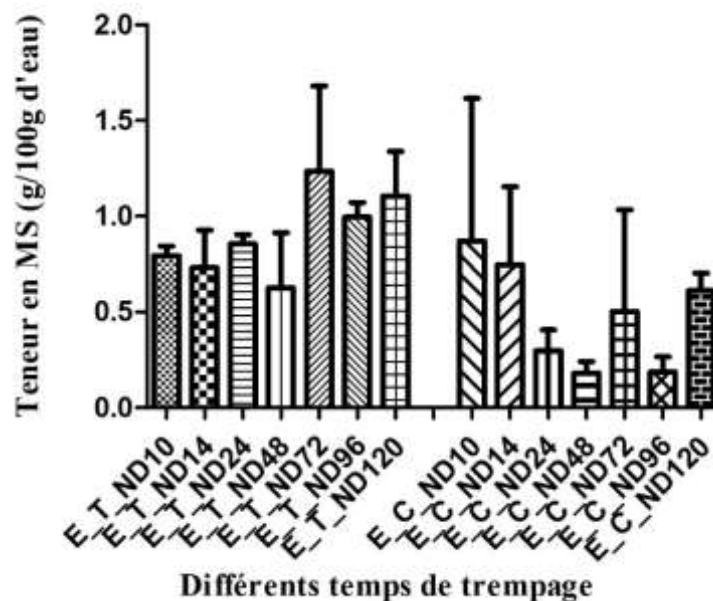
La figure 49 représente la variation de la perte de matières observées en fonction de la cuisson après les différentes périodes de trempage des graines dépelliculées (E\_C\_ND).



**Figure 49** : Variation des pertes de matière dans l'eau de cuisson après trempage des graines dépelliculées

La perte maximale de matières est précoce, et obtenue après la cuisson qui a suivi les 10 premières heures de trempage. Cependant, quelle que soit la durée de trempage, la perte de matières est inférieure à 0,8 g pour 100 g d'eau. Les pertes ne dépassent pas 1 g pour 100 g d'eau quelle que soient les cuissons. Aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'est observée entre les différentes pertes de matières dans les eaux de cuisson correspondant aux différents temps de trempage.

La comparaison de la variation de la perte de matières obtenue entre l'eau de trempage et l'eau de cuisson des graines dépelliculées (Figure 50) montre une perte de matières plus importante dans l'eau de trempage dépassant 1 g pour 100 g d'eau à partir de 72<sup>ème</sup> heure de trempage que dans l'eau de cuisson dont la perte la plus élevée ne dépasse pas 1 g pour 100 g d'eau. Cependant une différence significative ( $p < 0,05$ ) est révélée entre les traitements technologiques. Néanmoins, le test de Dunnett n'a révélé aucune différence significative entre les différentes pertes de matières dans les eaux de trempage et de cuisson correspondant au même temps ( $p > 0,05$ ).

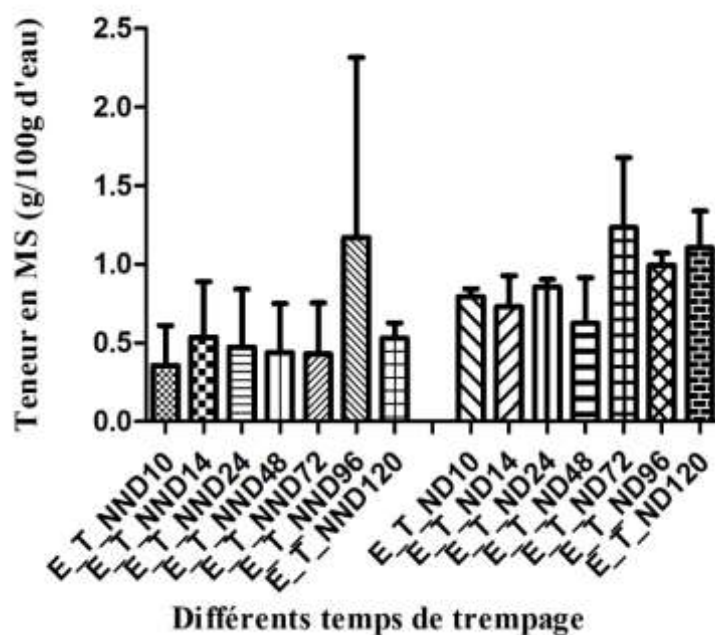


**Figure 50 :** Variation des pertes de matière dans l'eau de trempage et dans l'eau de cuisson des graines dépelliculées

#### 4.3.1.3 Comparaison des pertes de matières après les deux séries de traitements technologiques

##### 4.3.1.3.1 Perte de matières après trempage des graines dépelliculées et non dépelliculées

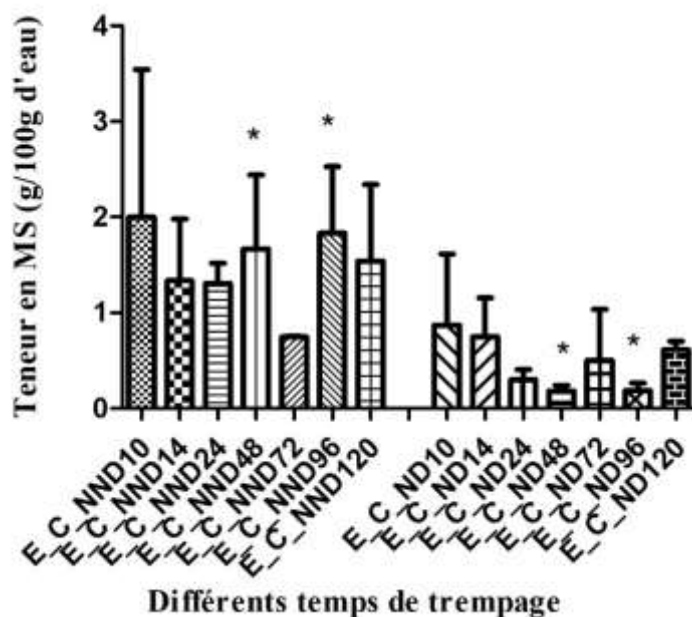
Il ressort de la figure 51 ci-dessous que, quelle que soit la durée de trempage, la perte de matière est plus importante lorsque les graines sont dépelliculées que non dépelliculées. Cependant la perte maximale de matière (1,24 g pour 100 g d'eau) est atteinte à la 72<sup>ème</sup> heure de trempage pour les graines trempées dépelliculées tandis que pour les graines trempées non dépelliculées, elle surviendra plus tardivement à la 96<sup>ème</sup> h de trempage autour de (1,17 g pour 100 g d'eau). La variation des pertes au niveau de la première série de traitements est de 1,2 g / 100 g MS à 6,55 g / 100 g MS, tandis que dans la deuxième série de traitements, elle varie de 5,2 g / 100 g MS à 10,3 g / 100 g MS. Cependant, les tests n'ont révélé aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les différents traitements technologiques.



**Figure 51 :** Variation des pertes de matière liées au trempage entre les graines non dépelliculées et dépelliculées

#### 4.3.1.4 Perte de matière due à la cuisson réalisée après trempage des graines dépelliculées et non dépelliculées

Il se dégage des analyses de comparaison des pertes de matières liées à la cuisson suivant les deux séries de traitement (Figure 52) que, quelle que soit la durée de trempage, la perte de matières après cuisson est plus importante lorsque les graines ne sont pas dépelliculées que dépelliculées. Ainsi dans les deux cas, la perte de matières maximale survient précocement dans les cuissons réalisées après 10 h de trempage.



**Figure 52 :** Variation des pertes de matière liées à la cuisson suivant les deux séries de traitement

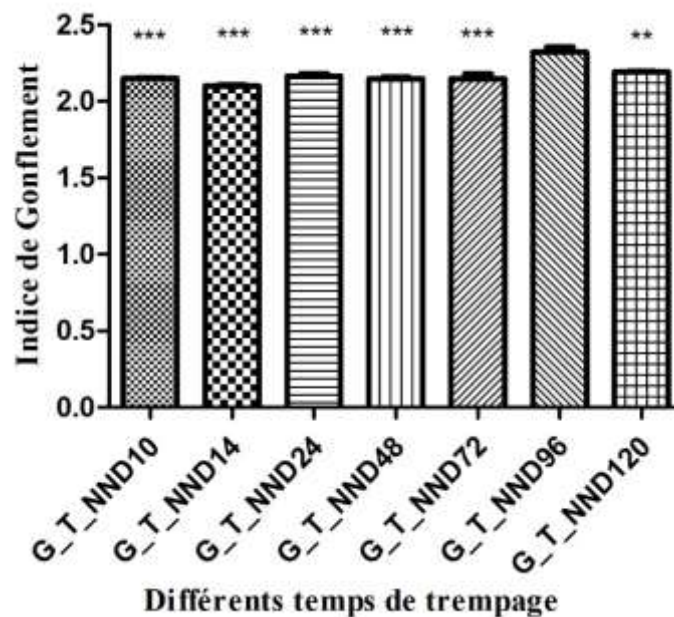
(\*p < 0,05; \*\*p < 0,01; \*\*\*p < 0,001)

Les moyennes des données statistiques selon ANOVA ont révélé qu'il y a une différence très significative ( $p < 0,001$ ) et le test de Dunnett a révélé à son tour des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre la perte de matières dans les eaux de cuisson correspondant au trempage des graines non dépelliculées pendant 48h et 96h et celles des graines dépelliculées correspondant respectivement aux mêmes temps.

L'étude a montré qu'en termes de bilan de perte de matière sèche (MS), le procédé qui a consisté à tremper les graines non dépelliculées, puis à les dépelliculer et à les cuire, occasionne des pertes significatives (Figure 52) par rapport à celui de faire tremper les graines dépelliculées puis les cuire. Les opérations de trempage, de dépelliculage et de cuisson sont les opérations clés de la production de la purée de niébé Adowè. Le choix du temps de trempage et de cuisson des graines, ensuite de la chronologie entre le trempage et le dépelliculage, est capital pour le contrôle des pertes de matière sèche (MS).

### 4.3.2 Taux d'absorption d'eau suivant les différents types de trempage

Le graphe des Indices de gonflement des graines non dépelliculées (Figure 53) montre que les graines non dépelliculées ont doublé de leur poids avec un indice de gonflement maximale à la 96<sup>ème</sup> heure (IG = 2,32 ± 0,03, correspondant à une absorption de 1,32 g d'eau par gramme de niébé). Une différence hautement significative ( $p < 0,001$ ) a été révélée entre chaque temps de trempage et le trempage de 96 h expliquant pourquoi au-delà de ce temps l'indice de gonflement reste le même pour les autres temps.



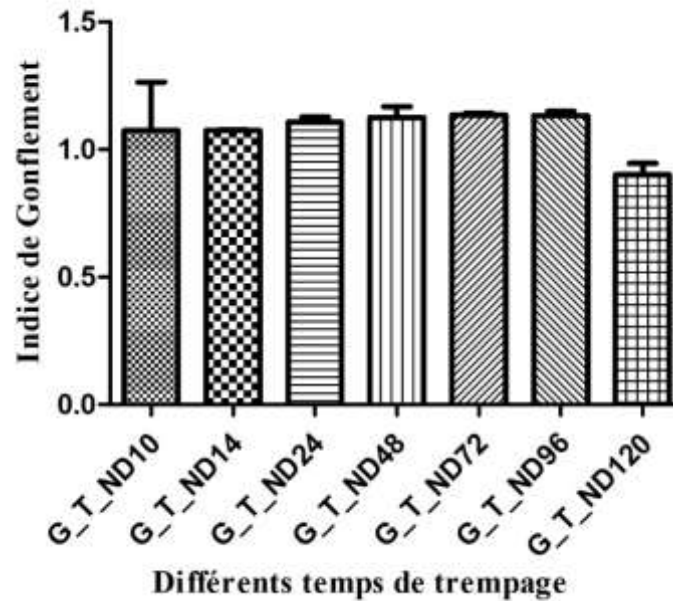
**Figure 53 :** Variation de l'indice de gonflement des graines non dépelliculées

(\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ )

Déjà à 10 h de trempage l'IG est de 2,15 correspondant à une absorption de 1,15 g d'eau par gramme de niébé et traduisant un équilibre hydrique déjà atteint. Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature. Ainsi pour deux cultivars différents de niébé, Kaptso *et al.* (2008) ont trouvé une teneur en eau d'équilibre de 1,3 à 1,4 kg d'eau / kg de graine, atteinte après trempage à 35 °C pendant 6 h. Pour deux autres variétés, Taiwo *et al.* (1997) ont observé que les graines de niébé atteignaient une teneur en eau à l'équilibre d'environ 1,1 kg d'eau / kg de graine à 60 °C pendant 1 h. La vitesse d'absorption d'eau est proportionnelle à la température et au temps de trempage (Teko *et al.*, 2021 ; Coffigniez *et al.*, 2018). Au fur et à mesure que la

température augmente, survient le phénomène de gélatinisation de l'amidon (cuisson) permettant une absorption accélérée d'eau dans les graines (Okechukwu et Rao, 1996).

L'absorption d'eau des graines dépelliculées est illustrée par la figure 54 suivante et demeure constante à partir de 10 h jusqu'à 96 h de trempage.

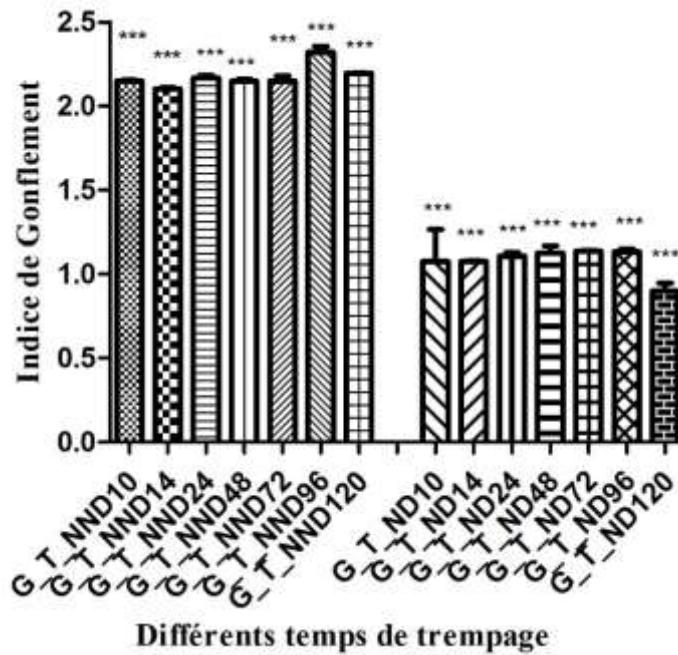


**Figure 54 :** Variation de l'indice de gonflement des graines dépelliculées

L'indice de gonflement le plus élevé est de 1,14 et correspond à une absorption d'eau de 0,14 g d'eau/gramme de niébé. Aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'a été observée. Ces faibles indices de gonflement sont dus à l'élimination de la pellicule. L'eau absorbée était piégée entre les cotylédons et les pellicules de la graine avant de pénétrer dans les interstices de la matrice, or dans ce cas les pellicules n'existent plus et par conséquent les graines absorbent moins d'eau.

La figure 55 ci-dessous représente l'indice de gonflement en fonction de la durée de trempage des graines dépelliculées et non dépelliculées.





**Figure 55 :** Variation de l'indice de gonflement des graines non dépelliculées et dépelliculées après trempage

(\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001)

Nous avons noté un doublement du volume des graines non dépelliculées quelle que soit la durée du trempage. Tandis que pour les graines dépelliculées, on note une stabilité du volume quelle que soit la durée du trempage sauf pour les 120 h où il y a une diminution. L'analyse statistique a révélé une différence très hautement significative entre les procédés appliqués et entre deux procédés du même temps de trempage, mais différents selon la chronologie de l'opération de dépelliculage.

### 4.3.3 Influence des différents procédés de production sur le taux de cendres, des minéraux et oligo-éléments

#### 4.3.3.1 Cas des graines non dépelliculées avant trempage

Dans cette étude, le trempage, le dépelliculage et la température ont favorisé l'altération des cotylédons et causé des pertes. Ces dernières sont constituées entre autres des éléments nutritifs tels que les éléments minéraux et les vitamines, et les facteurs antinutritionnels notamment les

phytates, les tanins et les polyphénols totaux (Mubarak, 2005 ; Khattab et Arntfield, 2009 ; Campos *et al.*, 2010).

Les différentes pertes du taux de cendres, des éléments minéraux et oligo-éléments observées chez les différentes purées issues des graines non dépelliculées trempées à différents temps sont consignées dans les tableaux 19 et 20.

**Tableau 19** : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé brut et des différentes purées issues des graines trempées non dépelliculées

<b>Eléments minéraux</b>	<b>NM (Témoin)</b>	<b>ANND10</b>	<b>ANND14</b>	<b>ANND24</b>
<b>Cendres</b>	3,1 ± 0,1	2,1 ± 0,1 <sup>***</sup>	2,0 ± 0,1 <sup>***</sup>	1,9 ± 0,0 <sup>***</sup>
<b>Aluminium</b>	3,5 ± 0,0	0,6 ± 0,4 <sup>***</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>***</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>***</sup>
<b>Calcium</b>	10,2 ± 0,0	6,8 ± 0,6 <sup>**</sup>	7,3 ± 0,1 <sup>*</sup>	6,9 ± 0,5 <sup>**</sup>
<b>Cobalt (µg/100 g MS)</b>	14,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0
<b>Chrome (µg/100 g MS)</b>	26,0 ± 0,0	14,0 ± 0,0 <sup>*</sup>	12,0 ± 0,0 <sup>**</sup>	9,0 ± 0,0 <sup>**</sup>
<b>Cuivre</b>	1,1 ± 0,0	0,4 ± 0,1 <sup>***</sup>	0,4 ± 0,0 <sup>***</sup>	0,4 ± 0,1 <sup>***</sup>
<b>Fer</b>	8,5 ± 0,0	5,6 ± 0,4 <sup>***</sup>	5,7 ± 0,0 <sup>***</sup>	5,5 ± 0,1 <sup>***</sup>
<b>Potassium</b>	1394,1 ± 0,0	496,9 ± 96,0 <sup>***</sup>	544,8 ± 108,1 <sup>***</sup>	521,0 ± 72,8 <sup>***</sup>
<b>Magnésium</b>	207,0 ± 0,0	116,2 ± 7,8 <sup>***</sup>	124,7 ± 7,7 <sup>***</sup>	128,9 ± 5,8 <sup>***</sup>
<b>Manganèse</b>	1,7 ± 0,0	1,9 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0
<b>Sodium</b>	2,1 ± 0,0	1,1 ± 0,3 <sup>**</sup>	1,1 ± 0,2 <sup>**</sup>	1,1 ± 0,0 <sup>**</sup>
<b>Nickel</b>	0,5 ± 0,0	0,1 ± 0,1 <sup>***</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>**</sup>	0,1 ± 0,0 <sup>***</sup>
<b>Sélénium(µg/100 g MS)</b>	61,0 ± 0,0	58,0 ± 0,0	67,0 ± 0,0	45,0 ± 0,0
<b>Zinc</b>	3,2 ± 0,0	2,9 ± 0,1 <sup>*</sup>	2,9 ± 0,0	2,8 ± 0,1 <sup>*</sup>

\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

**Tableau 20** : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé brut et des différentes purées issues des graines trempées non dépelliculées (suite)

<b>Eléments minéraux</b>	<b>NM (Témoin)</b>	<b>ANND48</b>	<b>ANND72</b>	<b>ANND96</b>	<b>ANND120</b>
<b>Cendres</b>	3,1 ± 0,1	1,9 ± 0,0 <sup>***</sup>	2,0 ± 0,1 <sup>***</sup>	2,0 ± 0,1 <sup>***</sup>	2,0 ± 0,1 <sup>***</sup>
<b>Aluminium</b>	3,5 ± 0,0	0,1 ± 0,0 <sup>***</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>***</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>***</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>***</sup>
<b>Calcium</b>	10,2 ± 0,0	6,5 ± 0,6 <sup>**</sup>	7,9 ± 1,1 <sup>*</sup>	7,0 ± 0,5 <sup>**</sup>	7,2 ± 0,5 <sup>*</sup>
<b>Cobalt (µg/100g MS)</b>	14,0 ± 0,0	1,0 ± 0,0	19,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0
<b>Chrome (µg/100g MS)</b>	26,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0 <sup>***</sup>	18,0 ± 0,0	9,0 ± 0,0 <sup>**</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>***</sup>
<b>Cuivre</b>	1,1 ± 0,0	0,4 ± 0,0 <sup>***</sup>	0,4 ± 0,1 <sup>***</sup>	0,4 ± 0,1 <sup>***</sup>	0,5 ± 0,1 <sup>***</sup>
<b>Fer</b>	8,5 ± 0,0	5,1 ± 0,2 <sup>***</sup>	4,9 ± 0,2 <sup>***</sup>	5,3 ± 0,3 <sup>***</sup>	5,3 ± 0,0 <sup>***</sup>
<b>Potassium</b>	1394,1 ± 0,0	488,9 ± 54,3 <sup>***</sup>	513,5 ± 86,0 <sup>***</sup>	519,7 ± 90,1 <sup>***</sup>	482,5 ± 84,9 <sup>***</sup>
<b>Magnésium</b>	207,0 ± 0,0	130,5 ± 3,2 <sup>***</sup>	132,8 ± 5,2 <sup>***</sup>	144,2 ± 1,0 <sup>***</sup>	148,9 ± 0,9 <sup>***</sup>
<b>Manganèse</b>	1,7 ± 0,0	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,2	2,0 ± 0,1
<b>Sodium</b>	2,1 ± 0,0	1,0 ± 0,1 <sup>**</sup>	1,1 ± 0,2 <sup>**</sup>	1,1 ± 0,2 <sup>**</sup>	1,0 ± 0,3 <sup>***</sup>
<b>Nickel</b>	0,5 ± 0,0	0,1 ± 0,0 <sup>***</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>**</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>**</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>**</sup>
<b>Sélénium (µg/100g MS)</b>	61,0 ± 0,0	60,0 ± 0,0	54,0 ± 0,0	51,0 ± 0,0	55,0 ± 0,0
<b>Zinc</b>	3,2 ± 0,0	2,6 ± 0,1 <sup>***</sup>	2,6 ± 0,1 <sup>***</sup>	2,7 ± 0,1 <sup>**</sup>	2,7 ± 0,0 <sup>**</sup>

\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

Une perte du taux de cendres de 30 % en moyenne des différents types de purée par rapport au niébé brut, est observée. De même, on note une perte de calcium, de potassium, de magnésium, de zinc et de fer respectivement de 30 %, 60 %, 40 %, 15 %, 30 % des différents types de purées par rapport au niébé brut.

La teneur en cendres du niébé brut cru (provenant de Madagascar), est de 3,1 g /100 g MS. Ce résultat est inférieur à ceux rapportés par Rivas-Vega *et al.* (2006) et Ghavidel et Prakash (2007) qui ont respectivement trouvé 3,93 g /100 g MS et 4,03 g /100 g MS. Cette différence peut

s'expliquer en premier lieu par l'effet variétal et facteurs externes tel que la nature du sol et la fertilisation.

Un effet très significatif des différentes purées sur la teneur en cendres ( $p < 0,001$ ) et entre le niébé brut (témoin) et les différents produits ( $p < 0,001$ ), a été mise en évidence. La teneur en cendres a diminué dans les différentes purées, probablement en raison de la perte des minéraux et oligoéléments lors du dépelliculage, du trempage et de l'ébullition dans l'eau.

Parmi les moyennes des minéraux et oligoéléments dosés dans le niébé brut, la teneur moyenne en potassium est la plus élevée, soit 1394 mg/100 g MS. Les pertes dans les différentes purées sont très significatives ( $p < 0,001$ ). Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Belane et Dakora (2011) qui ont travaillé sur 27 variétés de niébé dont les teneurs en potassium varient entre 1263,2 et 2583,3 mg/100 g MS. C'est l'élément minéral le plus abondant parmi les minéraux des légumineuses (Besançon, 1978).

La moyenne de la teneur brute en magnésium du niébé enregistrée, est de 207 mg/100 g MS et représente le deuxième élément le plus abondant après le potassium. Des différences très significatives entre le niébé brut et les différentes purées ( $p < 0,001$ ) ont été notées. Ce résultat concorde avec ceux trouvés par Belane et Dakora (2011) et variant de 160 à 370mg/100g MS. Pour le fer, le zinc, le manganèse et le cuivre, les précédents auteurs ont trouvé des teneurs variant respectivement de 2,43 à 13,7 mg / 100 g MS ; de 3,93 à 6,5mg / 100 g MS ; de 0,5 à 9,26 mg /100 g MS et de 0,83 à 1,55 mg /100 g MS comparables aux nôtres soit : 8,5 mg / 100 g MS pour Fe, 3,2 mg /100 g MS pour Zn, 1,7 mg /100 g MS pour Mn et 1,1 mg /100 g MS pour Cu. Cependant la teneur en zinc (4,03 mg / 100 g MS) rapporté par Hama-ba *et al.* (2017) est élevé par rapport à celle trouver. Lors du processus de production des différentes purées, il y a eu des pertes très significatives du fer, zinc et cuivre, mais pas pour le manganèse. En revanche, la teneur brute en calcium du niébé de cette étude est de 10,2 mg / 100 g MS et très inférieur aux résultats de Belane et Dakora (2011) dont les chiffres varient entre 86,7 et 145,6 mg / 100 g MS et ceux de Rivas-Vega *et al.* (2006) qui ont trouvé 34,7 mg /100 g MS. Cette différence peut s'expliquer entre autres par l'origine variétale. Il faut cependant noter une perte significative du calcium lors de la production des différentes purées.

L'analyse du niébé brut a révélé la présence d'autres oligoéléments essentiels à des taux non négligeable : Ni = 0,5 mg / 100 g MS ; Se = 61 µg / 100 g MS ; Cr = 26 µg /100 g MS et Co = 14 µg / 100 g MS. Également un oligoélément non essentiel en l'occurrence l'aluminium dont la teneur est de 3,5 mg / 100 g MS. Ces oligo-éléments ont perdu significativement leurs masses

au cours de la transformation du niébé brut en purée, à l'exception du cobalt dont la perte n'est pas significative.

#### 4.3.3.2 Cas des graines dépelliculées avant trempage

Les tableaux 21 et 22 illustrant les teneurs en cendres, minéraux et oligo-éléments du niébé brut et des différentes purées issues des graines trempées et dépelliculées, montre une perte significative du taux de cendres de 60 % en moyenne des différents types de Adowè préparés selon les différentes durées de trempage par rapport au niébé brut.

Tableau 21 : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé brut et des différentes purées issues des graines trempées dépelliculées

Eléments minéraux	NM (Témoin)	AND10	AND14	AND24
<b>Cendres</b>	3,1 ± 0,1	1,5 ± 0,0***	1,2 ± 0,1***	0,9 ± 0,1***
<b>Aluminium</b>	3,5 ± 0,0	0,5 ± 0,3***	0,2 ± 0,0***	0,4 ± 0,1***
<b>Calcium</b>	10,2 ± 0,0	11,3 ± 0,1	11,6 ± 0,2	12,7 ± 1,0*
<b>Cobalt µg/100g MS)</b>	14,0 ± 0,0	1,0 ± 0,0	1,0 ± 0,0	1,0 ± 0,0
<b>Chrome µg/100g MS)</b>	26,0 ± 0,0	13,0 ± 0,0	11,0 ± 0,0	19,0 ± 0,0
<b>Cuivre</b>	1,1 ± 0,0	0,5 ± 0,0***	0,6 ± 0,0***	0,6 ± 0,0***
<b>Fer</b>	8,5 ± 0,0	4,4 ± 0,1***	4,4 ± 0,0***	3,5 ± 0,2***
<b>Potassium</b>	1394,1 ± 0,0	254,7 ± 8,8***	225,6 ± 13,2***	98,0 ± 8,0***
<b>Magnésium</b>	207,0 ± 0,0	90,0 ± 1,1***	90,7 ± 0,4***	77,6 ± 6,0***
<b>Manganèse</b>	1,7 ± 0,0	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,0	1,1 ± 0,0*
<b>Sodium</b>	2,1 ± 0,0	1,9 ± 0,0	2,4 ± 0,5	1,3 ± 0,0*
<b>Nickel</b>	0,5 ± 0,0	0,0 ± 0,0***	0,0 ± 0,0***	0,0 ± 0,0***
<b>Sélénium µg/100g MS)</b>	61,0 ± 0,0	52,0 ± 0,0	44,0 ± 0,0	42,0 ± 0,0
<b>Zinc</b>	3,2 ± 0,0	2,1 ± 0,0***	2,2 ± 0,1***	1,7 ± 0,0***

\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

**Tableau 22** : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé brut et des différentes purées issues des graines trempées dépelliculées (suite)

<b>Eléments minéraux</b>	<b>NM (Témoin)</b>	<b>AND48</b>	<b>AND72</b>	<b>AND96</b>	<b>AND120</b>
<b>Cendres</b>	3,1 ± 0,1	0,7 ± 0,0***	0,7 ± 0,1**	0,6 ± 0,1***	0,7 ± 0,0***
<b>Aluminium</b>	3,5 ± 0,0	0,2 ± 0,0***	0,5 ± 0,0**	0,3 ± 0,0***	0,2 ± 0,1***
<b>Calcium</b>	10,2 ± 0,0	10,5 ± 0,1	8,9 ± 1,2	8,1 ± 0,8	8,4 ± 0,2
<b>Cobalt µg/100g MS)</b>	14,0 ± 0,0	3,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	15,0 ± 0,0
<b>Chrome µg/100g MS)</b>	26,0 ± 0,0	23,0 ± 0,0	62,0 ± 0,0*	22,0 ± 0,0	17,0 ± 0,0
<b>Cuivre</b>	1,1 ± 0,0	0,6 ± 0,0***	0,6 ± 0,1**	0,5 ± 0,0***	0,6 ± 0,0***
<b>Fer</b>	8,5 ± 0,0	3,4 ± 0,3***	4,0 ± 0,5***	3,6 ± 0,1***	3,0 ± 0,1***
<b>Potassium</b>	1394,1 ± 0,0	39,5 ± 7,0***	108,6 ± 26,6***	58,1 ± 7,7***	58,3 ± 15,8***
<b>Magnésium</b>	207,0 ± 0,0	57,3 ± 0,5***	58,6 ± 14,1***	56,8 ± 6,2***	49,8 ± 3,0***
<b>Manganèse</b>	1,7 ± 0,0	0,8 ± 0,0**	0,9 ± 0,3**	0,8 ± 0,2**	0,6 ± 0,1***
<b>Sodium</b>	2,1 ± 0,0	0,6 ± 0,0***	0,8 ± 0,2**	0,4 ± 0,0***	0,7 ± 0,1**
<b>Nickel</b>	0,5 ± 0,0	0,0 ± 0,0***	0,0 ± 0,0***	0,0 ± 0,0***	0,0 ± 0,0***
<b>Sélénium µg/100g MS)</b>	61,0 ± 0,0	41,0 ± 0,0	53,0 ± 0,0	39,0 ± 0,0	46,0 ± 0,0
<b>Zinc</b>	3,2 ± 0,0	1,9 ± 0,1***	2,0 ± 0,2***	2,0 ± 0,0***	1,8 ± 0,2***

\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

De même nous avons noté des pertes significatives du taux de calcium, de potassium, de magnésium, de zinc et de fer respectivement de 15 %, 90 %, 60 %, 40 %, 60 % des différents types de la purée Adowè préparée selon les différentes durées de trempage par rapport au niébé brut.

En comparaison, pour le taux de cendres et de certains minéraux et oligoéléments comme le potassium, le magnésium, le zinc et le fer, les pertes ont augmenté de 50 à 100 % tandis que pour le calcium, elle a diminué de 50 % par rapport aux différentes purées issues des graines trempées non dépelliculées.

#### 4.3.4 Variation du taux de cendres les minéraux et oligo-éléments en fonction du type de niébé et de leurs dérivés

L'évaluation des taux de cendres, des minéraux et oligo-éléments entre le niébé brut entier (NM), le niébé dépelliculé (NMD) et la pellicule (enveloppe) du niébé (ENM) est résumée dans le tableau 23.

Tableau 23 : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé (Madagascar) et ses produits dérivés

Eléments minéraux	NM (Témoin)	NMD	ENM
<b>Cendres</b>	3,1 ± 0,1	3,0 ± 0,1	2,5 ± 0,1***
<b>Aluminium</b>	3,5 ± 0,0	0,2 ± 0,0***	13,2 ± 0,0***
<b>Calcium</b>	10,2 ± 0,0	6,0 ± 0,0***	63,6 ± 0,0***
<b>Cobalt (µg/100g MS)</b>	14,0 ± 0,0	9,0 ± 0,1	65,0 ± 0,0*
<b>Chrome (µg/100g MS)</b>	26,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0***	134,0 ± 0,3***
<b>Cuivre</b>	1,1 ± 0,0	1,0 ± 0,0***	1,0 ± 0,0***
<b>Fer</b>	8,5 ± 0,0	6,0 ± 0,0***	23,6 ± 0,0***
<b>Potassium</b>	1394,1 ± 0,0	1351,2 ± 0,0***	1296,0 ± 0,0***
<b>Magnésium</b>	207,0 ± 0,0	183,0 ± 0,0***	331,5 ± 0,0***
<b>Manganèse</b>	1,7 ± 0,0	1,6 ± 0,0***	2,7 ± 0,0***
<b>Sodium</b>	2,132 ± 0,0	1,5 ± 0,0***	13,4 ± 0,0***
<b>Nickel</b>	0,5 ± 0,0	0,5 ± 0,0***	0,8 ± 0,0***
<b>Sélénium (µg/100g MS)</b>	61,0 ± 0,0	75,0 ± 0,1***	67,0 ± 0,0***
<b>Zinc</b>	3,2 ± 0,0	3,1 ± 0,0***	1,6 ± 0,0***

\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

Il ressort des résultats que le taux de cendres est moins important et très significative dans les pellicules que dans le niébé brut entier. Cette remarque est également faite sur les différents minéraux et oligoéléments à savoir : le cuivre, le potassium et le zinc. Cependant les autres éléments tels que l'aluminium, le calcium, le cobalt, le chrome, le fer, le magnésium, le manganèse, le sodium, le nickel et le sélénium, se révèlent très significativement plus abondants dans les pellicules que dans le niébé brut entier.

Par contre, le taux de cendres du niébé dépelliculé est juste légèrement inférieur à celui du niébé brut. Presque tous les taux des minéraux et oligoéléments du niébé dépelliculé sont très significativement inférieurs à ceux du niébé brut entier à l'exception du sélénium.

En comparant nos résultats du niébé dépelliculé avec ceux de la littérature, nous notons des teneurs des éléments comme : Na = 1,5 mg / 100 g MS, Ca = 6 mg / 100 g MS, Cu = 1 mg / 100 g MS, Zn = 3,1 mg / 100 g MS et cendres = 3 mg / 100 g MS, très inférieures à ceux rapportées par Iqbal *et al.* (2006) respectivement : 102 mg / 100 g MS ; 176 mg / 100 g MS ; 9,7 mg / 100 g MS ; 5,1 mg / 100 g MS et 4,2 g / 100 g MS. En revanche, les teneurs en K = 1351 mg / 100 g MS, Fe = 6 mg / 100 g MS, Mg = 183 mg / 100 g MS, sont supérieures à celles rapportées respectivement 1280 mg / 100 g MS, 2,6 mg / 100 g MS et 4,8 mg / 100 g MS. Seule la teneur en manganèse est sensiblement la même 1,7mg / 100 g MS.

Résumées dans le tableau 24 ci-dessous, les pertes liées au taux de cendres, minéraux et oligo-éléments entre le niébé brut entier du Togo (NT) et sa purée Adowè traditionnel (AT).



**Tableau 24** : Teneur en cendres (g/100 g MS), éléments minéraux et oligo-éléments (mg/100 g MS) du niébé (Togo) et de la purée traditionnelle Adowè

<b>Eléments minéraux</b>	<b>NT(Témoin)</b>	<b>AT</b>
<b>Cendres</b>	3,0 ± 0,0	2,6 ± 0,1**
<b>Aluminium</b>	1,1 ± 0,0	3,1 ± 0,0***
<b>Calcium</b>	12,6 ± 0,0	14,0 ± 0,0***
<b>Cobalt (µg/100g MS)</b>	20,0 ± 0,0	11,0 ± 0,0***
<b>Chrome (µg/100g MS)</b>	19,0 ± 0,0	9,0 ± 0,0***
<b>Cuivre</b>	0,9 ± 0,0	0,8 ± 0,0***
<b>Fer</b>	6,1 ± 0,0	5,2 ± 0,0***
<b>Potassium</b>	1487,3 ± 0,0	1104,5 ± 0,0***
<b>Magnésium</b>	213,0 ± 0,0	147,4 ± 0,0***
<b>Manganèse</b>	2,5 ± 0,0	1,9 ± 0,0***
<b>Sodium</b>	2,4 ± 0,0	137,4 ± 0,0***
<b>Nickel</b>	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0
<b>Sélénium (µg/100g MS)</b>	2,0 ± 7,9	6,0 ± 1,9***
<b>Zinc</b>	2,8 ± 0,0	2,9 ± 0,0***

\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$

Nous avons noté une perte significative du taux de cendres du niébé brut du Togo par rapport à sa purée ( $p < 0,01$ ). Nous avons enregistré des pertes très significative ( $p < 0,001$ ) des éléments minéraux et oligoéléments comme le fer, le cuivre, le cobalt, le chrome, le potassium, le magnésium et le manganèse au cours de la transformation du niébé brut en Adowè. Néanmoins nous avons noté également dans le Adowè une augmentation très significative ( $p < 0,001$ ) de certains minéraux et oligoéléments tels que l'aluminium, le calcium, le sodium, le sélénium et le zinc. Cette augmentation aurait pour cause, l'eau non déminéralisée utilisée et les particules de vétustes ustensiles de cuisine en aluminium qui pourrait facilement migrer dans la purée. Quant à la teneur en zinc, elle n'a pas varié.

Il ressort que le taux de cendres est significativement moins important dans les pellicules que dans le niébé brut. Ce constat est également fait sur les différents minéraux et oligoéléments à savoir : le cuivre, le potassium et le zinc. Cependant les autres éléments se révèlent plus abondants significativement dans les pellicules que dans le niébé brut.

### 4.3.5 Influence des différents procédés de production sur les facteurs antinutritionnels

#### 4.3.5.1 Effet du trempage sur la teneur en facteurs antinutritionnels des graines de niébé non dépelliculées

La variation des pertes de facteurs antinutritionnels au cours des différents procédés utilisés pour la production des purées est résumée dans les tableaux 25 et 26 ci-dessous.

Tableau 25 : Pertes de facteurs antinutritionnels en fonction de la durée de trempage des graines non dépelliculées avant la production de la purée Adowè

FAN	NM (Témoin)	ANND10	ANND14	ANND24
<b>Teneur en phytates mg/g MS</b>	12,4 ± 0,2	9,9 ± 1,6 (- 20,10 %)	10,2 ± 0,3 (- 17,59 %)	10,3 ± 0,0 (- 16,87 %)
<b>Teneur en polyphénols totaux mg GAE /g MS</b>	3,0 ± 0,0	1,3 ± 0,0*** (- 55,18 %)	1,2 ± 0,2*** (- 60,20 %)	1,1 ± 0,0*** (- 62,88 %)
<b>Teneur en tanin mg /g MS</b>	51,9 ± 0,0	34,4 ± 1,6*** (- 33,63 %)	36,5 ± 1,0*** (- 29,55 %)	36,3 ± 0,8*** (- 30,05 %)

\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

**Tableau 26** : Pertes de facteurs antinutritionnels en fonction de la durée de trempage des graines non dépelliculées avant la production de la purée Adowè (suite)

<b>FAN</b>	<b>NM(Témoin)</b>	<b>ANND48</b>	<b>ANND72</b>	<b>ANND96</b>	<b>ANND120</b>
		9,6 ± 1,3	9,7 ± 0,4	10,9 ± 0,3	11,6 ± 1,6
<b>Teneur en phytates mg/g MS</b>	12,4 ± 0,2	(- 22,76 %)	(- 21,71 %)	(- 12,19 %)	(- 6,78 %)
		1,0 ± 0,1 <sup>***</sup>	1,2 ± 0,1 <sup>***</sup>	1,1 ± 0,1 <sup>***</sup>	0,8 ± 0,3 <sup>***</sup>
<b>Teneur en polyphénols totaux mg GAE /g MS</b>	3,0 ± 0,0	(- 65,55 %)	(- 59,20 %)	(- 63,21 %)	(- 72,24 %)
		36,5 ± 0,3 <sup>***</sup>	35,5 ± 1,3 <sup>***</sup>	35,0 ± 1,1 <sup>***</sup>	34,6 ± 0,2 <sup>***</sup>
<b>Teneur en tanin mg /g MS</b>	51,9 ± 0,0	(- 29,70 %)	(- 31,49 %)	(- 32,44 %)	(- 33,27 %)

\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

La première série de traitements est caractérisée par des trempages des graines non dépelliculées à différents temps avant de passer à la production des différentes purées.

Les facteurs antinutritionnels majoritaires du niébé sont les phytates, les tanins et les polyphénols totaux. Le niébé brut sert de témoin dans la comparaison des FAN avec les différentes purées obtenues. La teneur en phytates du niébé brut enregistrée est de 12,4 mg / g MS, et se situe dans l'intervalle des valeurs obtenues dans la littérature sur le niébé qui varient entre 424 et 1230 mg /100 g MS (Carnovale *et al.*, 1989 ; Lyayi *et al.*, 2008). En revanche notre résultat est le double de celui trouvé par Ghavidel et Prakash (2007) qui est à 0,6 g /100 g MS (6 mg / g MS). Quant à la teneur en tanin du niébé brute, elle est de 51,9 mg / g MS, valeur très supérieure à celle trouvée par Ghavidel et Prakash (2007) qui est de 0,47 g /100 g MS (4,7 mg / g MS). La teneur des polyphénols totaux enregistrées par la présente étude, est de 3 mg / g MS qui supérieurs aux valeurs rapportées par Akpavi *et al.* (2008) sur trois variétés de niébé à savoir : le niébé rouge : 1,44 mg / g MS, le niébé blanc cornille :1,15 mg / g MS et le niébé blanc : 0,9 mg / g MS. Ces différences en teneur de FAN observées avec les données de la

littérature s'expliquent par la variation selon le taxon et selon la méthode d'analyse employée (Akpavi *et al.*,2008).

Afin d'optimiser l'intérêt nutritionnel des graines de niébé, les pertes occasionnées par les différents procédés sur la teneur en FAN dans la production des différentes purées, ont été évaluées afin de pouvoir choisir le procédé le plus performant en termes de réduction de la teneur en FAN. La perte en phytates est de 20 % en moyenne pour les trempages de durée inférieure ou égale à 72 h tandis qu'elle est de 10 % en moyenne pour les trempages de plus de 72 h. Aucune différence significative de perte en phytates, n'apparait entre les échantillons de trempage et niébé brut. En revanche, les pertes en teneurs de tanin et de polyphénols totaux sont très significatives par rapport au niébé brut et sont respectivement en moyenne de l'ordre de 27 % et 65 %.

#### 4.3.5.2 Effet du trempage sur la teneur en facteurs antinutritionnels des graines de niébé dépelliculées

Les tableaux 27 et 28 ci-dessous présentent l'effet des différents procédés de Production des différentes purées issues des graines de niébé qui ont subi la deuxième série de traitement sur les phytates, les polyphénols totaux et les tanins.

**Tableau 27** : Pertes des facteurs antinutritionnels en fonction de la durée de trempage des graines dépelliculées avant la production de la purée Adowè

FAN	NM (Témoin)	AND10	AND14	AND24
<b>Teneur en phytates mg/g MS</b>	12,4 ± 0,2	7,3 ± 0,5*** (- 40,92 %)	7,1 ± 0,0*** (- 42,37 %)	4,4 ± 0,7*** (- 64,33 %)
<b>Teneur en polyphénols totaux mg GAE /g MS</b>	3,0 ± 0,0	0,8 ± 0,2*** (- 72,57 %)	1,3 ± 0,0*** (- 56,86 %)	1,0 ± 0,2*** (- 66,55 %)
<b>Teneur en tanin mg /g MS</b>	51,9 ± 0,0	38,4 ± 0,7*** (- 25,98 %)	39,1 ± 0,6*** (- 24,67 %)	38,0 ± 0,3*** (- 26,71 %)

\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

**Tableau 28** : Pertes de facteurs antinutritionnels en fonction de la durée de trempage des graines dépelliculées avant la production de la purée Adowè (suite)

<b>FAN</b>	<b>NM (Témoin)</b>	<b>AND48</b>	<b>AND72</b>	<b>AND96</b>	<b>AND120</b>
<b>Teneur en phytates mg/g MS</b>	12,4 ± 0,2	5,3 ± 0,7*** (- 56,90 %)	3,2 ± 0,2*** (- 74,41 %)	4,6 ± 0,7*** (- 62,79 %)	5,2 ± 0,1*** (- 57,71 %)
<b>Teneur en polyphénols totaux mg GAE /g MS</b>	3,0 ± 0,0	1,1 ± 0,2*** (- 64,21 %)	1,0 ± 0,1*** (- 65,22 %)	1,2 ± 0,1*** (- 59,20 %)	0,8 ± 0,1*** (- 72,91 %)
<b>Teneur en tanin mg /g MS</b>	51,9 ± 0,0	37,2 ± 0,6*** (- 28,18 %)	37,9 ± 0,3*** (- 26,85 %)	36,4 ± 1,3*** (- 29,76 %)	35,3 ± 1,0*** (- 31,92 %)

\*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

Il ressort un effet très hautement significatif des différents traitements sur les teneurs en phytates, en polyphénols totaux et en tanin ( $p < 0,001$ ) de même que pour les pertes des FAN par rapport au niébé brut ( $p < 0,001$ ).

Les pertes en phytates, en polyphénols totaux, en tanin sont respectivement en moyenne de 57 %, 65 % et 27 %. Pour les phytates, les pertes sont de 64 % et au-dessus des pertes moyennes pour la purée issue des graines dépelliculées et trempées pendant 24 h avec une perte maximale de 74 %, pour la purée issue des graines trempées pendant 72 h. Pour ces deux purées, les pertes en polyphénols totaux et en tanins sont respectivement de 66 % et 26 % pour les 24 h de trempages, de 65 % et 26 % pour les 72 h de trempage.

Les pertes des phytates chez le niébé au cours des procédés de trempage et de cuisson ont été rapporté par plusieurs auteurs (Herken *et al.*, 2007 ; Lara-Flores *et al.*, 2007 ; Khattab et Arntfield, 2009). La littérature a rapporté également la perte de phytates chez d'autres légumineuses suite aux différents traitements physiques (Alajaji et El-Adawy, 2006 ; Wang *et al.*, 2008 ; Luo *et al.*, 2009 ; Wang *et al.*, 2009 ; Wang *et al.*, 2010).

La perte hautement significative des phytates observée au cours du procédé utilisé dans cette étude, découlerait du phénomène d'hydrolyse des phytates par les enzymes endogènes (phytases) lors de l'opération du trempage et à la diffusion de ces éléments dans l'eau de

trempage et de cuisson (Lestienne *et al.*, 2005). La nature thermolabile des phytates aurait également influencé la perte significative (Udensi *et al.*, 2007).

Cependant cette perte significative des phytates n'a pas été observée chez les purées issues des graines qui ont subi la première série de trempage avec pellicules. Les pellicules ayant entre autres un rôle de barrière, n'aurait pas permis une bonne diffusion des phytates dans l'eau de trempage et en outre elle contient également une quantité de phytates qui lors du trempage migrerait vers les cotylédons et réciproquement.

#### 4.3.5.3 Effet du procédé de production traditionnelle sur la teneur en facteurs antinutritionnels

Les pertes des facteurs antinutritionnels au cours du procédé de production traditionnelle de Adowè (Tableau 29) révèlent un effet très hautement significatif des différents traitements du procédé de production traditionnelle sur les teneurs en phytates, en polyphénols totaux et en tanin ( $p < 0,001$ ).

Tableau 29 : Teneur en facteurs antinutritionnels du niébé (Togo) et de la purée traditionnelle Adowè

FAN	NT(Témoin)	AT
<b>Teneur en phytates mg/g MS</b>	10,5 ± 0,5	8,7 ± 0,0** (-17 %)
<b>Teneur en polyphénols totaux mg GAE /g MS</b>	5,7 ± 0,2	2,4 ± 0,1*** (-57,89 %)
<b>Teneur en tanin mg/g MS</b>	40,1 ± 0,2	33,0 ± 1,1*** (-17,7 %)

\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$

Une perte significative des phytates ( $p < 0,01$ ) et hautement significative pour les polyphénols et les tanins ( $p < 0,001$ ), a été déterminée. Cependant, il faut souligner que les pertes en pourcentages des phytates, polyphénols et tanins sont respectivement de 17 %, 57,89 % et de 17,7 %. Les teneurs en phytates et en polyphénols du Adowè Traditionnel sont respectivement 8,7 et 2,4 mg / g MS sont supérieurs voire le double pour les phytates, aux résultats de Madodé *et al.* (2011) dont les chiffres sont respectivement 0,36 g /100 g MS (3,6 mg /g MS) et 0,18 g/100 g (1,8 mg / g MS). Cette différence peut s'expliquer notamment par l'origine variétale du niébé.

#### 4.3.6 Variation de la teneur en facteurs antinutritionnels entre le niébé brut et ses dérivés

Le tableau 30 suivant illustre la comparaison de la teneur des différents facteurs antinutritionnels notamment les phytates, les polyphénols et les tanins entre le niébé brut entier, le niébé dépelliculé et les pellicules du niébé.

**Tableau 30** : Teneur en facteurs antinutritionnels du niébé brut (Madagascar) et ses produits dérivés

FAN	NM(Témoin)	NMD	ENM
<b>Teneur en phytates mg/g MS</b>	12,4 ± 0,2	8,8 ± 0,0***	6,7 ± 0,1***
<b>Teneur en polyphénols totaux mg GAE /g MS</b>	3,0 ± 0,0	2,5 ± 0,1	86,1 ± 0,4***
<b>Teneur en tanin mg /g MS</b>	51,9 ± 0,0	39,2 ± 1,1***	116,6 ± 0,2***

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

Une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ) est mise en évidence entre le niébé brut et le niébé dépelliculé pour les phytates d'une part et d'autre part entre le niébé brut et les pellicules ( $p < 0,001$ ). La teneur en phytates du niébé brut reste supérieure à celles des deux

sous-produits indiquant que les phytates sont répartis entre les cotylédons (réserves) et la pellicule de la graine du niébé brut avec une plus légère concentration dans les cotylédons.

La comparaison des moyennes a révélé une différence hautement significative de teneur en polyphénols totaux entre le niébé brut et la pellicule ( $p < 0,001$ ). Par contre aucune différence significative de cette teneur en polyphénols n'a été observée entre le niébé brut et les cotylédons ( $p > 0,05$ ). La teneur en polyphénols totaux du niébé brut est légèrement supérieure à celle du niébé dépelliculé (cotylédons) tandis que la teneur en polyphénols totaux des pellicules est au moins 25 fois supérieure aux celles du niébé brut et du niébé dépelliculé. Ce résultat indique que les polyphénols totaux sont majoritairement localisés dans les pellicules des graines de niébé.

Concernant la teneur en tanin du niébé brut et du niébé dépelliculé d'une part et d'autre part entre le niébé brut et les pellicules, une différence hautement significative ( $p < 0,001$ ) est notable. La teneur en tanin des pellicules est plus du double de celles du niébé brut et du niébé dépelliculé (cotylédons). Ce résultat indique clairement que la localisation du tanin se trouve dans les pellicules, renforçant ainsi la précédente affirmation sur la localisation des polyphénols totaux dans la graine de niébé. Les résultats de la présente étude concordent avec ceux rapportés dans la littérature par Ghavidel et Prakash (2007) qui ont conclu que la plupart de l'acide phytique et du tanin sont présents dans les pellicules des légumineuses (niébé, haricot mungo, lentille et pois chiche). Rao et Prabhavathi (1982) ont également rapporté des résultats similaires pour certaines légumineuses dépelliculées.

#### **4.3.7 Influence des différents procédés de production de la purée « Adowè » sur les macronutriments, les éléments minéraux et les facteurs antinutritionnels**

##### **4.3.7.1 Composition nutritionnelle des différents types de niébé et de Adowè**

Le tableau 31 ci-dessous montre la composition en glucides totaux, protéines et lipides des niébés du Togo (NT), de Madagascar (NM), de la purée traditionnelle (AT) et des différents types de purées de niébé fabriqués en laboratoire.



**Tableau 31** : Teneur en macronutriments des différents types de niébé (Madagascar et Togo), de la purée traditionnelle et des différentes purées de niébé produites en laboratoire (g/100 g MS)

Echantillons	Glucides totaux	Protéines	Lipides
NT	71,8±0,0	23,9±0,0	1,3±0,0
AT	72,0±0,8	23,3±0,8	2,1±0,0
NM	72,2±0,9	23,5±0,9	1,3±0,0
NMD	71,9±0,9	23,8±0,9	1,3±0,1
ANND10	70,5±0,1	24,6±0,1	2,8±0,1
ANND14	71,0±0,0	25,3±0,0	1,7±0,0
ANND48	69,6±0,1	26,7±0,1	1,8±0,0
ANND72	72,1±0,0	24,4±0,0	1,5±0,0
ANND96	70,7±0,0	25,3±0,0	2,0±0,0
AND10	70,9±0,1	26,2±0,1	1,4±0,0
AND14	71,7±0,1	24,9±0,1	2,2±0,0
AND48	74,5±0,0	23,5±0,0	1,3±0,0
AND72	73,0±0,0	25,0±0,0	1,3±0,0
AND96	73,6±0,0	24,4±0,0	1,4±0,0

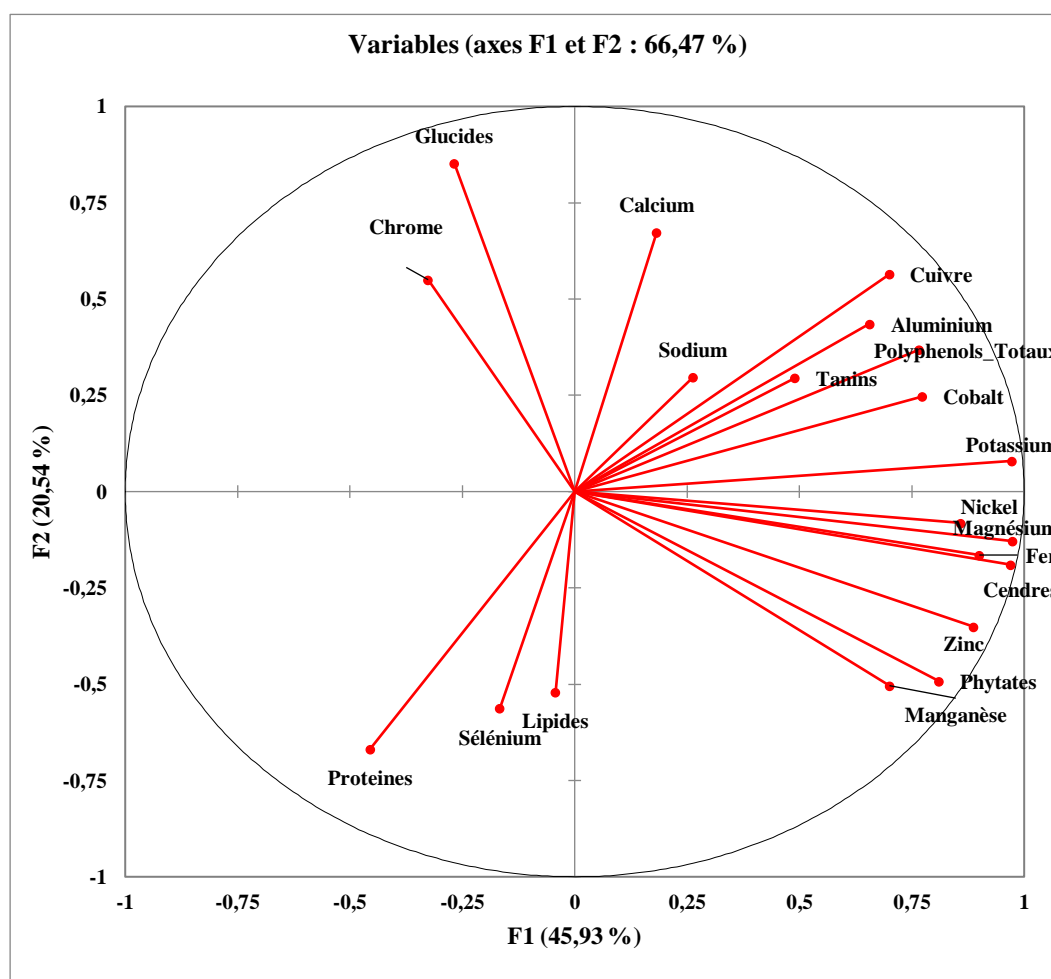
La teneur en glucides totaux des niébés dans notre étude est supérieure à celle retrouvée en 1989 par Carnovale *et al.* (66,63 g / 100 g MS) et inférieure ou égale à celle rapportée dans la littérature par Rabearimanana en 2004 (72 et 76,4 g /100 g MS). Les travaux de Rabearimanana ont également révélé des valeurs élevées pour les protéines (25 – 26,3 g / 100 g MS) et pour les lipides (1,62 – 1,7g / 100 g MS) par rapport à notre étude. Il en était de même pour Carnovale *et al.* (1989) qui ont rapporté également des valeurs élevées pour les protéines (24,72 g / 100 g MS) et les lipides (1,54 g / 100 g). Cette différence pourrait s'expliquer par la diversité des niébés utilisés.

Les présents résultats des teneurs en protéines brutes se situaient dans l'intervalle normal. Il a été rapporté que le niébé, le pois et le haricot rouge ont respectivement des teneurs en protéines de : 20,00 - 34,20 ; 14,20 - 36,10 et 15,20 - 36,00 g / 100 g MS (FAO, 1981 ; Ofuya, 2002 ; Onwuliri et Obu, 2002 ; Adekola et Oluleye, 2007).

Les procédés de production de Adowè au laboratoire ont eu pour effet, une augmentation des protéines dans les différents types de Adowè obtenus par rapport au niébè (Tableau 31). Cependant, cette différence n'apparaît pas entre le niébè du Togo et le Adowè traditionnel. Les teneurs en protéines et lipides des niébés du Togo et de Madagascar et des différents types de Adowè se superposent vraisemblablement à celles retrouvées par Iqbal *et al.* (2006) dans ses travaux sur le pois chiche, le niébè, la lentille et le petit pois.

#### 4.3.7.2 Cercle de corrélation montrant les relations ou corrélations entre les descripteurs ou paramètres mesurés

La figure 56 illustre les corrélations entre les nutriments, les minéraux et les facteurs antinutritionnels (les polyphénols, les tanins et les phytates).

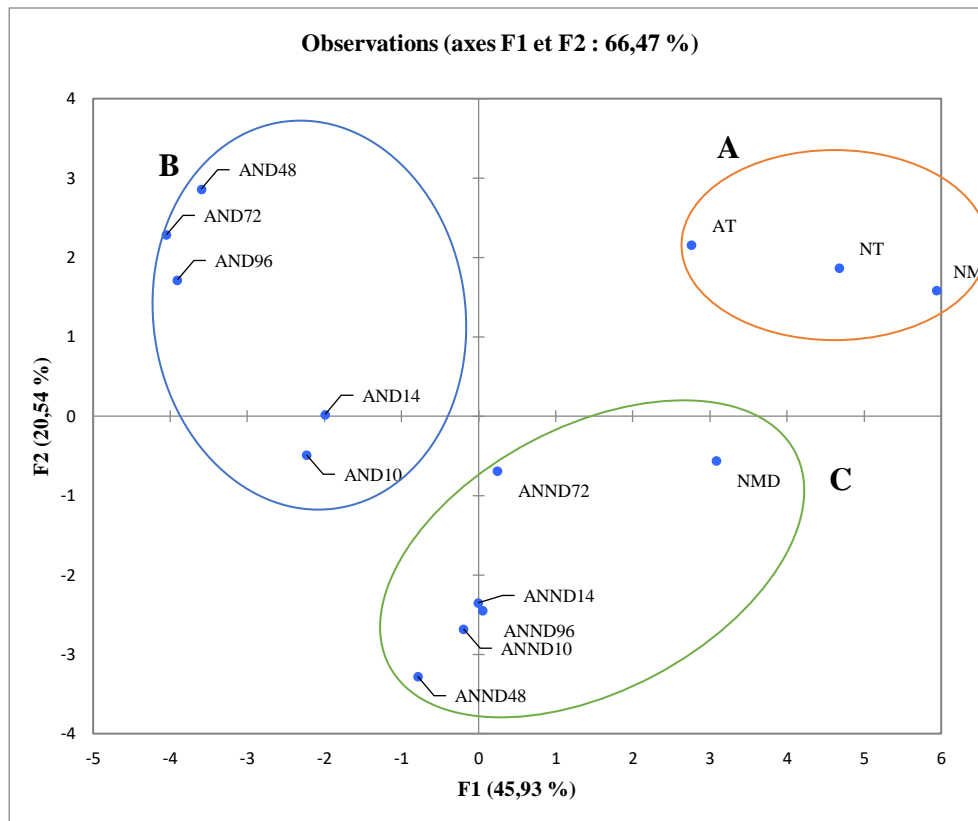


**Figure 56 :** Corrélations entre les macronutriments, les éléments minéraux et les facteurs antinutritionnels

L'axe F1 (46 %) regroupe presque tous les facteurs antinutritionnels et la majorité des éléments minéraux alors que l'axe F2 (21 %) est expliqué par les nutriments que sont les glucides totaux, les protéines et les lipides. Il y a une interdépendance directe entre les phytates et les cations bivalents comme le fer, le zinc, le magnésium, le manganèse. Cette interdépendance traduit leur perte simultanée. Elle s'explique par la chélation des cations bivalents par les phytates (McWatters *et al.*, 1992 ; Bressani, 1993). Cependant les phytates sont corrélés inversement aux protéines et aux glucides totaux. Cela traduit une interdépendance négative car la perte des phytates favorise l'augmentation des protéines et des glucides, et inversement. Ainsi la même remarque est faite entre les polyphénols et les tanins versus les protéines et les lipides. Une corrélation directe entre les polyphénols totaux et les tanins est observée. Cette corrélation est due au fait que les tanins sont des polyphénols. Ainsi donc la même observation d'une corrélation directe est faite également entre les polyphénols et les tanins versus les glucides.

#### **4.3.7.3 Carte des groupes ou traitements montrant les différences et les similitudes entre ces traitements**

La figure 57 ci-dessous montre 3 groupes distincts de types de niébé traités ou pas et leurs purées Adowè respectives. Le groupe A regroupe le niébé du Togo et de Madagascar et Adowè traditionnel du Togo qui présentent une similitude.



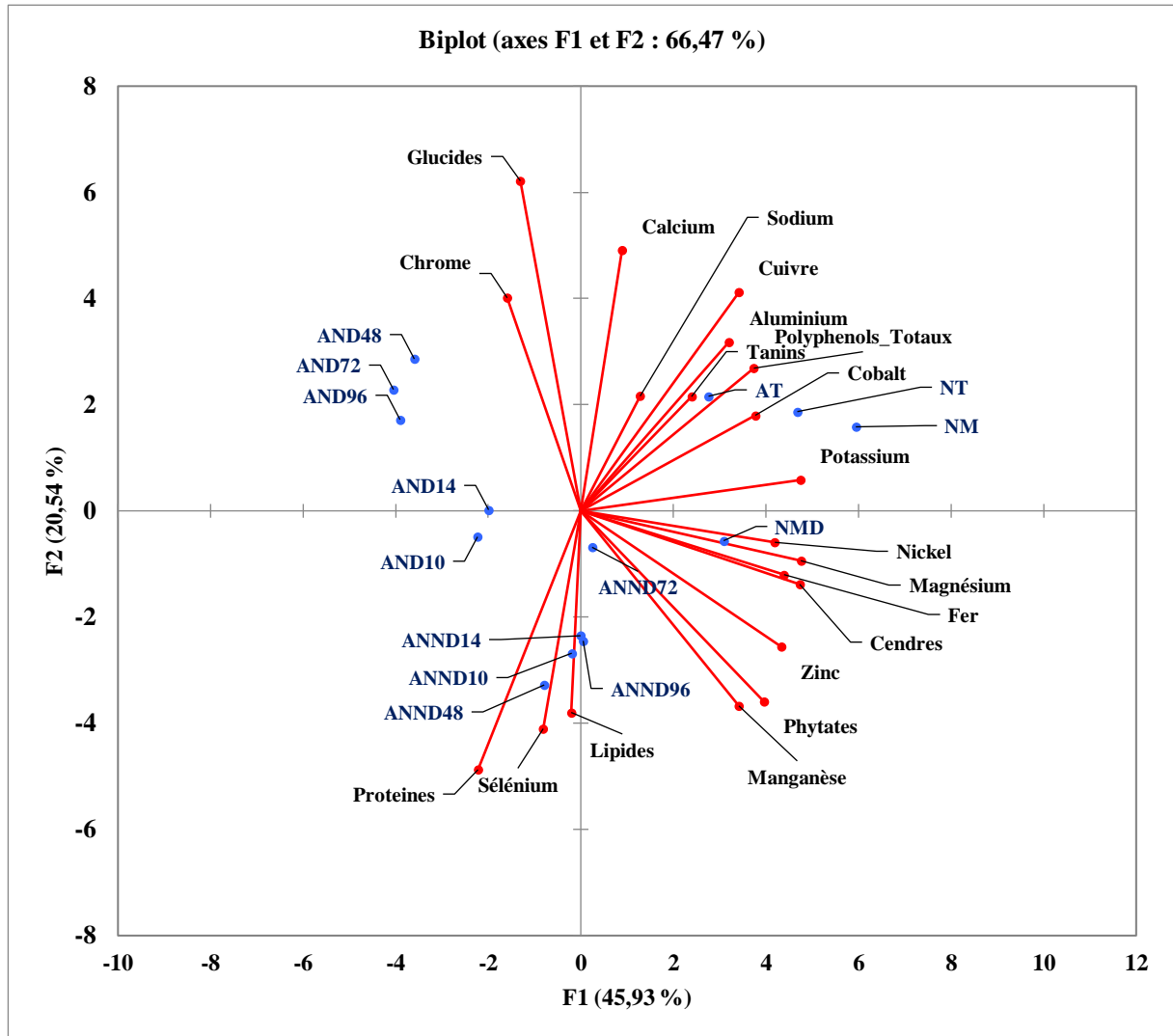
**Figure 57 :** Carte montrant les différences et les similitudes entre les différents types de Adowè et de niébé

NT= Niébé provenant du Togo ayant servi à préparer Adowè; AT= Adowè traditionnel provenant du Togo; NM= Niébé d'origine Malgache acheté en France; NMD= Niébé d'origine Malgache acheté en France, Dépelliculé; ANND10= Adowè de niébé dépelliculé après trempage du Niébé Non Dépelliculé de 10 h; ANND14= Adowè de niébé dépelliculé après trempage du Niébé Non Dépelliculé de 14 h; ANND48= Adowè de niébé dépelliculé après trempage du Niébé Non Dépelliculé de 48 h; ANND72= Adowè de niébé dépelliculé après trempage du Niébé Non Dépelliculé de 72 h; ANND96= Adowè de niébé dépelliculé après trempage du Niébé Non Dépelliculé de 96 h ; AND10= Adowè de Niébé Dépelliculé après trempage de 10 h; AND14= Adowè de Niébé Dépelliculé après trempage de 14 h; AND48 = Adowè de Niébé Dépelliculé après trempage de 48 h; AND72= Adowè de Niébé Dépelliculé après trempage de 72 h; AND96 = Adowè de Niébé Dépelliculé après trempage de 96 h.

Le groupe B présente la similitude des AND et le groupe C illustre la ressemblance entre les ANND. Au cours du procédé de production des AND, le niébé est tout d'abord dépelliculé puis trempé à différents temps à partir de 10 h et ensuite cuit, tandis que pour obtenir les ANND, le niébé est trempé avec sa pellicule à différents temps à partir de 10h et ensuite dépelliculé puis cuit. Cette différence dans le procédé de production s'est révélée fondamentale à travers la figure 57. L'appartenance de Adowè traditionnel (AT) au groupe A, démontre que AT n'a pas subi le même procédé de production que ceux des groupes B et C.

#### 4.3.7.4 Combinaison de cercle de corrélation et carte des groupes

La figure 58 expose une probable association entre groupe A et une partie des macronutriments et les polyphénols.



**Figure 58 :** Biplot de superposition, des différents types de niébé et de Adowè, des macronutriments, des éléments minéraux et des facteurs antinutritionnels

Le groupe B exhibe une proximité avec les glucides et le groupe C peut être relié au reste des micronutriments, aux protéines, lipides, cendres et facteurs antinutritionnels. La relation du groupe A avec les cendres et les facteurs antinutritionnels, s'explique par la non transformation des niébés du Togo et de Madagascar. Concernant Adowè traditionnel, il peut être avancé que, le procédé de production n'est pas assez élaboré pour éliminer une bonne partie des facteurs

antinutritionnels et des cendres comme le cas des groupes B et C. Ces derniers montrent une affinité avec les glucides totaux, protéines, lipides. A l'intérieur du groupe C, le niébé dépelliculé non cuit présente une proximité avec les phytates et les éléments minéraux qu'avec les tanins et les polyphénols. Cela témoigne que les pellicules de niébé sont plus concentrées en tanins et en polyphénols tandis que les cotylédons sont moins. Il est évident d'affirmer que les procédés de production qui ont abouti à l'obtention des purées Adowè des groupes B et C ont permis d'éliminer considérablement les facteurs antinutritionnels (polyphénols, tanins et phytates). Ces facteurs antinutritionnels (FAN) ont des effets négatifs sur la qualité nutritive des produits en occurrence les tanins (Salunkhe *et al.*, 1982), ils chélatent avec les protéines endogènes du produit ou avec des protéines exogènes et des enzymes du tube digestif, rendant une limitation de leur utilisation (Papadopoulou et Frazier, 2004). Les polyphénols, tout comme les phytates forment des complexes avec des cations divalents, diminuant leur biodisponibilité (Gillooly *et al.*, 1984).

## Conclusion

En somme, cette étude a montré que les différents procédés de transformation du niébé en Adowè ont des effets significatifs sur la qualité nutritionnelle de la purée. La première série de traitements technologiques de trempage des graines non dépelliculées et dépelliculées à différents temps suivi de la cuisson, a occasionné une perte en phytates, tanins, et polyphénols totaux. La deuxième série de traitements technologiques de trempage à différents temps des graines de niébé dépelliculées dans une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) de blanchiment alimentaire avant l'étape de cuisson, a également provoqué une baisse significative en phytates, polyphénols totaux et tanins. La purée traditionnelle issue de la méthode ancestrale de la production de la purée Adowè enregistre aussi des pertes significatives des phytates, polyphénols et tanins, néanmoins ces pertes demeurent inférieures à celles obtenues après l'application de la deuxième série de traitements technologiques. Les différentes pertes sont occasionnées par les traitements combinés du dépelliculage, de trempage et de cuisson. Ces pertes touchent aussi des éléments nutritifs. Les résultats des travaux de la littérature ont rapporté également que les phytates sont répartis entre les cotylédons et les pellicules de la graine du niébé brut avec une plus légère concentration dans les cotylédons. Les polyphénols totaux et les tanins ont pour siège dans les pellicules. Afin de rendre plus biodisponible les éléments nutritifs de la purée Adowè, le processus de préparation suivant serait recommandé: dépelliculage des graines de niébé puis trempage pendant 24 h, ensuite passage à l'opération de cuisson et à l'opération de mise en purée des graines cuites.

**Chapitre 5 : Etude  
rhéologique de la purée de  
niébé dépelliculé « Adowè »  
et influence de la salive sur  
sa viscosité**



## Introduction

Le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) est une espèce de plantes de la famille des Fabaceae et du genre *Vigna* originaire d'Afrique tropicale, dont plusieurs sous-espèces sont cultivées comme plantes alimentaires pour leurs graines, proches des haricots, leurs gousses, ou pour leurs feuilles. Les graines sont largement consommées, seules, avec du pain ou des aliments de base comme le riz ou la farine de maïs, des tubercules (manioc, ignames) ou de la banane plantain dans l'Ouest et le Centre de l'Afrique (Edijala, 1980 ; Oniang'O *et al.*, 2003 ; Sodjinou, 2006 ; Madode *et al.*, 2011). L'Afrique de l'Ouest et du Centre domine la production mondiale de niébé ; avec le Nigeria ; produisant environ 40 % de la production mondiale (Gomez, 2004 ; Adebooye et Singh, 2007). Les graines de niébé sont cuites de différentes manières pour les mets locaux ouest-africains avec leurs spécialités locales respectives : les graines bouillies (*Veyi* au Togo et au Bénin), le ragoût (*abobo* au Bénin et au Togo), la purée de graines dépelliculées (Adowè et Moin-moin au Togo, au Bénin et au Nigeria), le beignet (*Gawu, Ata, Akara* et *Koose* au Togo, Bénin, Nigéria et Ghana), et entre autres les crêpes de niébé (*Kpedji-gawu* au Togo). Habituellement au Togo dans les cuisines traditionnelles, les graines de niébé blanc ou beige sont les premiers choix pour la production de l'Adowè. Le niébé cuit seul dans l'eau (*Veyi*) ou avec du riz (*Ayimolou*) sont les plats les plus appréciés des consommateurs de niébé au Togo. L'Adowè est préparé par cuisson dans l'eau les graines de niébé dépelliculées, qui sont ensuite réduites en purée (Madode *et al.*, 2011). La consommation de la purée de niébé dépelliculé (Adowe) au Togo a remarquablement baissé au cours de ces dernières décennies. Une enquête réalisée dans le cadre de la présente étude a montré que la génération des moins de 30 ans d'âge est moins familière de Adowè que la génération précédente de leurs parents. Le processus traditionnel de cuisson de Adowè pour la préparation et la consommation domestiques est pénible, chronophage et nécessite beaucoup d'eau (Oniang'O *et al.*, 2003 ; Madode *et al.*, 2011). Cela constitue l'une des raisons qui ont entraîné une baisse de la contribution de Adowè à l'alimentation familiale, bien que la valeur nutritionnelle de ce mets soit toujours appréciée. Des rapports scientifiques suggèrent que 50 g/jour des graines de niébé peuvent fournir la référence nutritionnelle recommandée en apport de protéines (Willett *et al.*, 2019). Les graines de niébé contiennent une quantité de protéines d'environ 20 à 26 g 100 g de matières sèches « MS » (Edijala, 1980 ; Khan *et al.*, 1980).

Un des aspects importants intervenant dans la facilité et la commodité de déglutition des aliments, est la texture. Ainsi les purées sont des moyens typiques d'introduction de la nourriture

chez les nourrissons, les petits enfants et les personnes âgées qui ont des difficultés de mastication ou de déglutition. Ces catégories de personnes peuvent perdre du poids du fait d'un apport insuffisant en protéines. De plus, le niébé sous forme de graine pourrait ne pas convenir à l'alimentation des personnes qui ont une fonction dentaire altérée, des muscles de la cavité buccale affaiblis, une perte de dents provoquée par la vieillesse et une coordination réduites des mouvements. Les personnes ayant des difficultés de mastication ou de déglutition ont un risque accru de malnutrition protéino-énergétique, il est donc nécessaire de s'assurer que les aliments consommés par ces personnes soient suffisamment équilibrés en protéines. La préparation de la purée niébé de textures de niveau 3 à 4 selon la classification IDDSI (International Dysphagia Diet Standardization Initiative) peut aider à promouvoir un aliment végétarien riche en protéines auprès de ces personnes. La farine de graines de niébé peut être utilisée comme ingrédient alimentaire pour ajuster la teneur en protéines et la texture des aliments ou pour préparer de Adowè. C'est le cas de Moin-moin (Tourte au niébé cuit à la vapeur), afin d'alléger le coût énergétique impliqué dans la préparation domestique de la purée à partir de graines de niébé cuites (McWatters, 1990). Cependant, les produits à base de poudre de niébé doivent répondre aux caractéristiques du produit traditionnel afin de garantir l'acceptation des produits par les consommateurs. Par conséquent, il est nécessaire de caractériser la purée traditionnelle, la purée produite au laboratoire et d'utiliser ces caractéristiques dans la formulation de purée de niébé (Adowè) déshydratée.

Dans cette étude, nous allons dans un premier temps produire une purée de niébé selon la méthode traditionnelle avec modification au niveau de l'opération de mise en purée des graines en transition de cuisson ou cuites en utilisant un appareil. Ensuite une analyse granulométrique sera effectuée sur la purée traditionnelle et la purée préparée au laboratoire. Et pour finir, une étude des propriétés rhéologiques de la purée (préparations traditionnelle et en laboratoire) et l'étude de l'influence de la salive sur sa viscosité. Plusieurs méthodes sont proposées par le Comité IDDSI pour évaluer la consistance des produits. Dans ce travail, nous avons étudié le comportement au fluage, la thixotropie et le comportement rhéofluidifiant ou rhéoépaississant de la purée (Cichero *et al.*, 2017 ; Talens *et al.*, 2021) en fonction du taux de cisaillement, de la contrainte, du temps et de la concentration en matière sèche de Adowè. La purée de niébé Adowè a été diluée soit dans de l'eau soit dans de la salive afin d'étudier l'influence de la salive sur le comportement d'écoulement et en déduire la caractéristique d'écoulement de la purée en conditions orales (Laguna *et al.*, 2020). Bien que la méthode mise en œuvre dans cette étude ne

soit pas une simulation de condition de cisaillement oral proprement dite (SOSC : Simulation of Oral Shear Condition).

## **5.1 Rappels bibliographiques : notions de rhéométrie**

Il est exposé brièvement dans cette partie, les notions de base en rhéologie et les principales grandeurs utilisées dans ce manuscrit. Ces grandeurs sont exposées dans bon nombre d'ouvrages généraux (Couarraze et Grossiord, 1983 ; Macosko et Mewis, 1994 ; Barnes, 2000 ; Guyon et *al.*, 2001).

### **5.1.1 Définition et principe**

Étymologiquement, la rhéologie, du grec « rheo » qui signifie « couler » et « logos » qui signifie « étude », terme inventé par Eugène Bingham et Marcus Reiner en 1929, est une discipline qui étudie la déformation et l'écoulement de la matière sous l'effet d'une contrainte appliquée, variable ou non au cours du temps.

L'étude du comportement rhéologique d'un matériau permet d'évaluer le système de forces nécessaires pour causer une déformation spécifique ou de prédire des déformations occasionnées par l'application des forces. Cette étude permet d'établir *via* des fonctions matérielles (viscosité, modules élastique ou visqueux) des relations entre les contraintes, les déformations, le temps d'application et le temps de réponse du matériau. La technique expérimentale qui permet d'analyser ces propriétés rhéologiques des matériaux concernés est nommée **rhéométrie**.

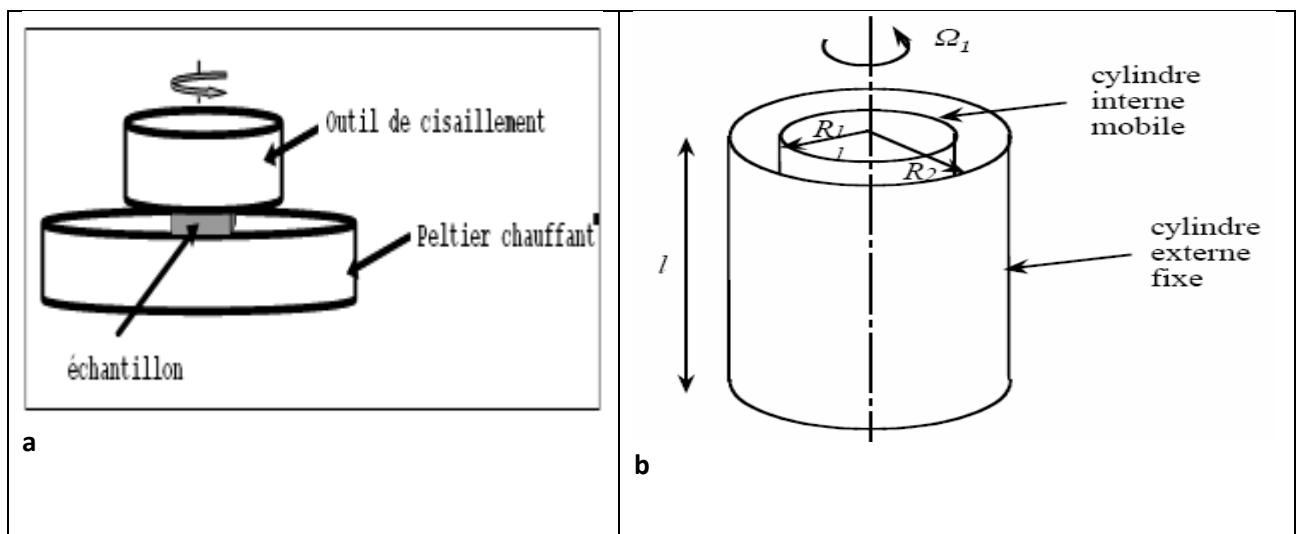
De nombreuses déformations peuvent survenir au sein de corps solides. Lorsqu'il s'agit des solides parfaits on note des déformations élastiques car ils retrouvent leurs formes de départ après déformation. Dans les cas de solides, il s'agit des déformations plastiques.

Dans le cas des fluides (gaz parfaits et liquides), l'énergie dépensée au cours de la déformation est dissipée dans le fluide sous forme de chaleur et ne peut être retrouvée lors de l'arrêt de la déformation (Gebhard, 2004). Parmi les fluides, seule un petit nombre a un comportement se rapprochant de celui d'un fluide parfait lorsqu'il subit des efforts. Le reste des fluides affiche en fonction du caractère élastique et visqueux, un comportement rhéologique documenté entre le comportement liquide et le comportement solide et certains fluides sont classés viscoélastiques car ils présentent les deux comportements.

Un rhéomètre permet d'effectuer plusieurs types de mesures par application d'un gradient de cisaillement, soit par application d'une contrainte. La grandeur non appliquée est mesurée pour

retrouver la viscosité. C'est un type d'instrumentation qui a différentes configurations opératoires (i) l'écoulement a lieu entre deux plaques planes parallèles (ii) l'écoulement a lieu entre une géométrie cône et une géométrie plane (iii) l'écoulement a lieu dans l'intervalle entre deux géométrie cylindriques coaxiales et de diamètres différents et enfin (iv) l'écoulement a lieu à travers des tuyaux, tubes ou capillaires.

Dans ce manuscrit, les études effectuées ont concerné l'écoulement entre deux plaques planes parallèles (Figure 59a), dans le chapitre 3 et l'écoulement dans l'intervalle entre deux géométries cylindriques coaxiales et de diamètres différents (Figure 59 b), dans ce chapitre.



**Figure 59** : Schémas des géométries, pour l'écoulement plan - plan (a), pour l'écoulement de couette (b)

### 5.1.2 Contrainte de cisaillement

En théorie, les liquides sont considérés comme une superposition parallèle de couches de liquide. Chacune de ses couches est animée d'un mouvement relatif par rapport à l'autre. C'est ainsi qu'apparaissent des forces de cisaillement, qui sont des forces tangentielles, et des forces de frottement.

Pendant le mouvement laminaire de cisaillement, c'est-à-dire mouvement sans turbulence, le matériau présente une structure en lamelles par couches adjacentes et d'épaisseurs infiniment minces. Les couches sont animées d'un mouvement relatif les unes par rapport aux autres : deux couches successives, au contact l'une de l'autre, se déplacent relativement l'une par rapport à

l'autre (Conrrazé et Grossiord, 2000). Nous pouvons ainsi dire que la contrainte de cisaillement est la force que l'on exerce par unité de surface du fluide :

$$\sigma = \frac{dF}{dS} \quad \text{Eq. 5-1}$$

Avec :

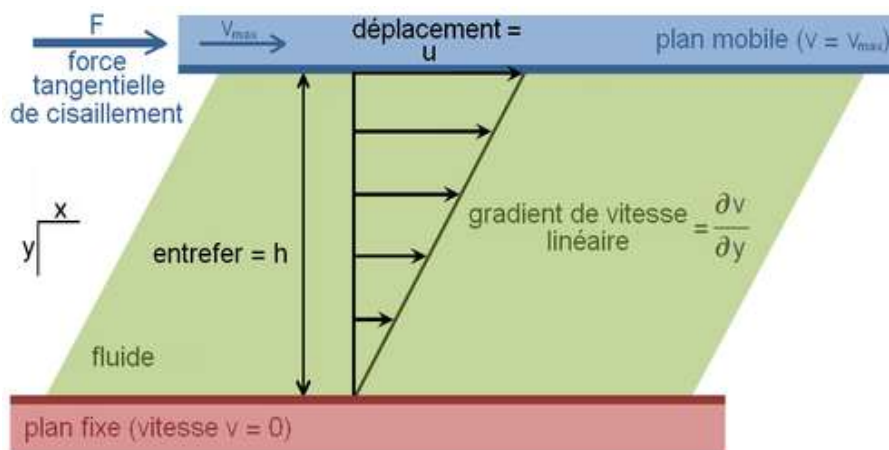
$\sigma$  : la contrainte de cisaillement, est exprimée en « Pa »

$dF$  : la projection de la force tangentielle appliquée à la surface du matériau, est exprimée en « N ».

$dS$  : la surface élémentaire d'application d'une couche cisillée, est exprimée en « m<sup>2</sup> ».

### 5.1.3 Gradient de cisaillement

Considérant un fluide qui s'écoule entre deux plateaux parallèles, dont l'un se déplace à une vitesse constante et l'autre est stationnaire où la vitesse nulle (Figure 60). Les relations suivantes définissent un mouvement laminaire plan :



**Figure 60** : Schéma de la déformation laminaire de cisaillement plan (Briant *et al.*, 1985)

**Démonstration :**

$$\gamma = \frac{u}{h} \quad \text{Eq. 5-2}$$

$$V_{\max} = \frac{du}{dt} \quad \text{Eq. 5-3}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{u}{h} \right) = \frac{1}{h} \frac{du}{dt} \quad \text{Eq. 5-4}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{V_{\max}}{h} \quad \text{Eq. 5-5}$$

Avec :

$\gamma$  : Déformation relative du fluide au bout d'un temps  $dt$ , grandeur adimensionnelle

$\dot{\gamma}$  : Gradient ou taux de cisaillement, exprimé en «  $s^{-1}$  »

$V_{\max}$  : Vitesse du plateau mobile, exprimée en «  $m.s^{-1}$  »

$h$  : Hauteur de la zone cisailée (entrefer), exprimée en «  $m$  »

$u$  : Déplacement du fluide, exprimé en «  $m$  »

$t$  : Temps, exprimé en «  $s$  »

La viscosité est le rapport entre la contrainte de cisaillement  $\sigma$  (Pa) et le gradient de cisaillement  $\dot{\gamma}$  ( $s^{-1}$ ). Une loi dont Isaac Newton a été le premier à avoir décrite :

$$\sigma = \eta \dot{\gamma} \quad \text{Eq. 5-6}$$

D'où

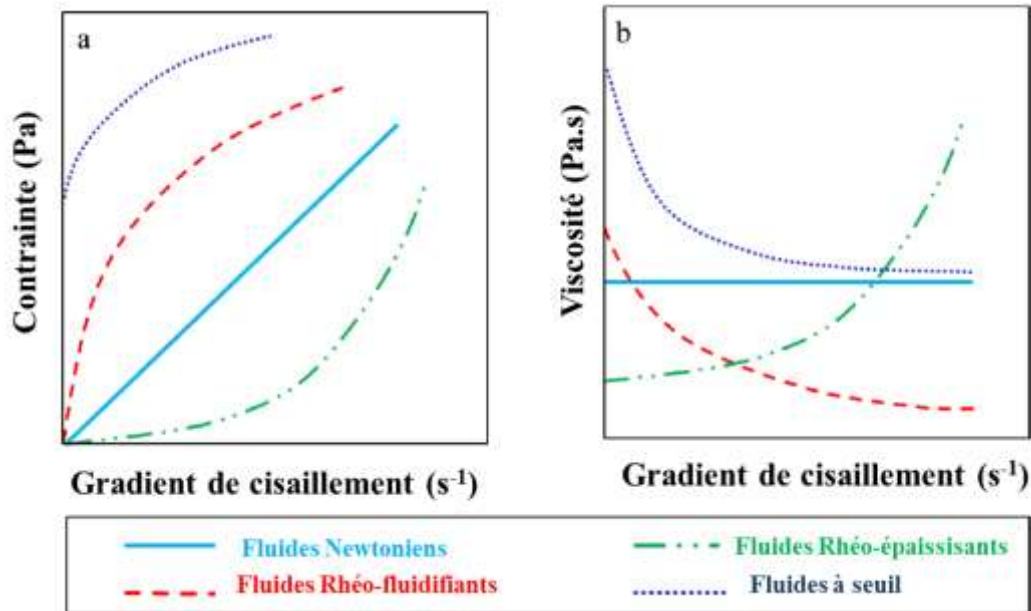
$$\eta = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad \text{Eq.5-7}$$

$\eta$  : la viscosité, exprimée en Pascal-seconde «  $Pa.s$  »

#### 5.1.4 Comportements rhéologiques de différents types de systèmes

Une courbe d'écoulement est une représentation de courbe dans un repère orthonormé de la contrainte en fonction du gradient de cisaillement, obtenus à l'issue des mesures rhéométriques. Elles définissent le comportement rhéométrique du système concerné et permettent de différencier plusieurs domaines de comportement lors de l'application de gradients de

cisaillement. Deux grandes catégories de comportements de fluides sont distinguées : les fluides Newtoniens et les fluides non-Newtoniens (Figure 61).



**Figure 61** : Comportements rhéologiques des différents fluides : Courbes d'écoulement (a), Courbes de viscosité (b) (Rey, 2017)

#### 5.1.4.1 Fluides Newtoniens

D'après Bachelor (2000), les liquides Newtoniens sont définis par une contrainte visqueuse proportionnelle au gradient de cisaillement appliqué. Ainsi, l'eau et certaines huiles minérales de faible viscosité sont classées fluides Newtoniens.

#### 5.1.4.2 Fluides non-Newtoniens

Les fluides qui ne sont pas définis comme Newtoniens, rentrent dans la catégorie des fluides non-Newtoniens. Trois (03) types de comportements sont distingués : les fluides rhéofluidifiants ou pseudo-plastiques avec une viscosité qui diminue lorsque le gradient de cisaillement appliqué augmente, les fluides rhéoépaississants ou dilatants avec un comportement contraire aux précédents, et les fluides à seuil d'écoulement dont l'écoulement ne peut pas s'effectuer au-dessous d'une certaine valeur de cisaillement.

### 5.1.4.2.1 Seuil d'écoulement

Les fluides à seuil, à l'instar de nombreuses suspensions concentrées de solides dans un liquide et certaines solutions de polymères, le concentré de tomate, la mayonnaise, ketchup, crèmes cosmétiques, sont des matériaux qui ne s'écoulent que sous l'effet d'une contrainte minimum suffisante (Ovarlez, 2011). Cette contrainte est appelée contrainte seuil et est notée «  $\sigma_o$  » et caractérise l'utilisation de ses matériaux (Coussot, 2005).

Les travaux de Ovarlez (2011) ont distingué deux fluides à seuil afin de mieux les caractériser : les fluides à seuil simples dont le comportement dépend peu ou pas de l'histoire d'écoulement, et les fluides à seuil thixotropes dont le comportement dépend de l'histoire d'écoulement. Ainsi donc, pour déterminer la catégorie d'appartenance d'un matériau, il faut comparer son aspect après un malaxage vigoureux et après un long temps de repos : il est classé fluide à seuil simple, s'il garde la même consistance dans ces deux situations. Il est classé fluides à seuil thixotropes, s'il est plus pâteux après un long temps de repos et redevient liquide après un re-malaxage (Barnes, 1997).

Des modèles mathématiques peuvent décrire les comportements non-Newtoniens, à l'instar de la loi de puissance ou la loi Herschel-Buckley (Macosko, 1994). Le tableau 32 suivant récapitule les principaux modèles utilisés :

Tableau 32 : Principaux modèles de modélisation des comportements rhéologiques

Modèle	Equation générale	Type de comportement modélisé
<b>Linéaire</b>	$\sigma = \eta \cdot \dot{\gamma}$	Newtonien
<b>Loi de puissance</b>	$\sigma = k \cdot \dot{\gamma}^n$ $k = \text{consistance} ; n = \text{indice de structure}$	Pseudo plastique ( $n < 1$ ) Rhéoépaississant ( $n > 1$ )
<b>Bingham</b>	$\sigma = \sigma_o + \eta' \cdot \dot{\gamma}$ $\sigma_o = \text{seuil d'écoulement} ; \eta' = \text{viscosité de Bingham}$	Plastique idéal
<b>Herschel-Bulkley</b>	$\sigma = \sigma_o + K \cdot \dot{\gamma}^n$	Plastique non idéal



## **5.2 Matériels et méthodes**

### **5.2.1 Graines de niébé**

Plusieurs variétés de graines de niébé sont disponibles sur le marché local en France, nous avons utilisé la variété à œil noir de couleur beige pour notre étude. Il s'agit de la variété qui est couramment utilisée pour la production de la purée traditionnelle « Adowè » au Togo. "Adowè" est une purée de graines de niébé dépelliculées suivant un procédé traditionnel que nous essayons de reproduire avec une légère modification incluant l'enlèvement du tégument (pellicules) des graines par une opération de blanchiment dans de l'eau déminéralisée à 1 % KOH (hydroxyde de potassium) (masse/volume) et la mise en purée effectuée par un appareil (Ultra-turrax IKA T25), au lieu d'une spatule en bois. Cet appareil a juste été utilisé pour réduire les graines cuites en purée et non dans un but spécifique, d'autres appareils plus adaptés pourraient être utilisés. Avant le dépelliculage, une sélection des graines basée sur des critères d'appréciation visuelle de l'homogénéité et de la propreté des graines ont été effectuées et les graines endommagées ont été retirées.

### **5.2.2 Salive**

La salive a été prélevée sur un donneur adulte sain selon la méthode décrite par Yousefi et Ako (2020). Brièvement, trois rinçages de la bouche ont été demandés au donneur pour éliminer tout débris de sa cavité buccale. Ensuite, un morceau de feuille de nylon stérile ( $\sim 5 \times 5 \text{ cm}^2$ ) a été donné au donneur de mâcher et stimuler la sécrétion de salive, la salive a été obtenue en crachant dans un tube de faucon puis conservée fraîchement à température ambiante avant son utilisation dans tous les tests.

### **5.2.3 Préparation de la purée de niébé dépelliculé « Adowè »**

La purée a été préparée selon le mode de cuisson traditionnel de la purée de niébé dépelliculée au Togo (méthode décrite dans le chapitre 2 de ce manuscrit). Les différences résident dans l'équipement utilisé dans ce travail. Les graines après dépelliculage par blanchiment dans de l'eau déminéralisée à 1 % KOH, ont été introduites dans de l'eau bouillante dans un rapport graines (175 g) /eau (526,9 g) de 1:3 (masse/masse). Le temps de cuisson a été déterminé selon une étude précédente de Teko *et al.* (2021). Ainsi donc, la température de cuisson entre 90 et 100 °C a été nécessaire pour réaliser au bout de  $15 \pm 2$  min la transition de cuisson entre les

graines crues et cuites au cours de la cuisson. Ensuite, l'écume qui se forme au moment de l'ébullition, est régulièrement retirée (opération d'écumage). Une fois la cuisson des graines constatée, elles sont réduites en purée par l'ultra-turrax à 24000 rpm pendant 10 min et donner une purée de niébé concentrée (PNC). Cette purée obtenue est nommée purée du laboratoire. La concentration de la purée du laboratoire et celle du produit traditionnel (purée fabriquée au Togo selon la méthode traditionnelle) ont été déterminées par la méthode de séchage. Cette concentration était  $31 \pm 2$  % masse/masse ou 31 g de matière sèche pour 100 g de purée. Des concentrations similaires ont été trouvées pour les multiples préparations à répétition effectuées. Nous avons effectué 4 dilutions à partir de la purée de niébé concentré (PNC) de laboratoire à 31 % de concentration de masse afin d'obtenir : une purée de concentration 12% masse/masse (PNC 12 %), une purée de concentration 15 % masse/masse (PNC 15 %), une purée de concentration 18 % masse/masse (PNC 18 %), une purée de concentration 20 % masse/masse (PNC 20 %), pour notre étude.

#### 5.2.4 Etude de viscosité et de fluage - recouvrance

Les tests de fluage - recouvrance et de viscosité ont été réalisés à l'aide d'un système de rhéomètre avancé (HAAKE MARS, Thermo Scientific) (Figure 62a), équipé d'une géométrie Couette. Les étapes de mesure ont été gérées avec le logiciel HAAKE RheoWin Job manager 4.85.0002. La géométrie couette se compose d'un cylindre concentrique, d'un cylindre intérieur (bob ou rotor de type z38 et numéro de série L19003) avec un rayon  $R_1$  de 19 mm et un cylindre extérieur (coupelle, stator de type CCB43/SS et numéro de série 01191059) avec un rayon  $R_2$  de 21,5 mm, définissant un intervalle radial ( $R_2 - R_1$ ) de 2,5 mm et un rayon moyen  $R$  de 20,25 mm comme  $(R_1 + R_2)/2$ . La hauteur du rotor est de 55 mm et l'écart vertical de mesure (gap) entre le bob et la coupelle est fixé à 2 mm. Le moment et la force maximum de l'appareil est respectivement de  $2 \times 10^4$   $\mu$ Nm et 50 N. Le moment  $M$  ou la vitesse angulaire  $\Omega$  est mesuré et la viscosité est dérivée comme suit:

$$\eta = K_G \frac{M}{\Omega} = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad \text{Eq. 5-8}$$

Où  $M$  et  $\Omega$  sont respectivement proportionnels à la contrainte de cisaillement et au taux de cisaillement par un facteur  $K_G$  qui est la constante géométrique.

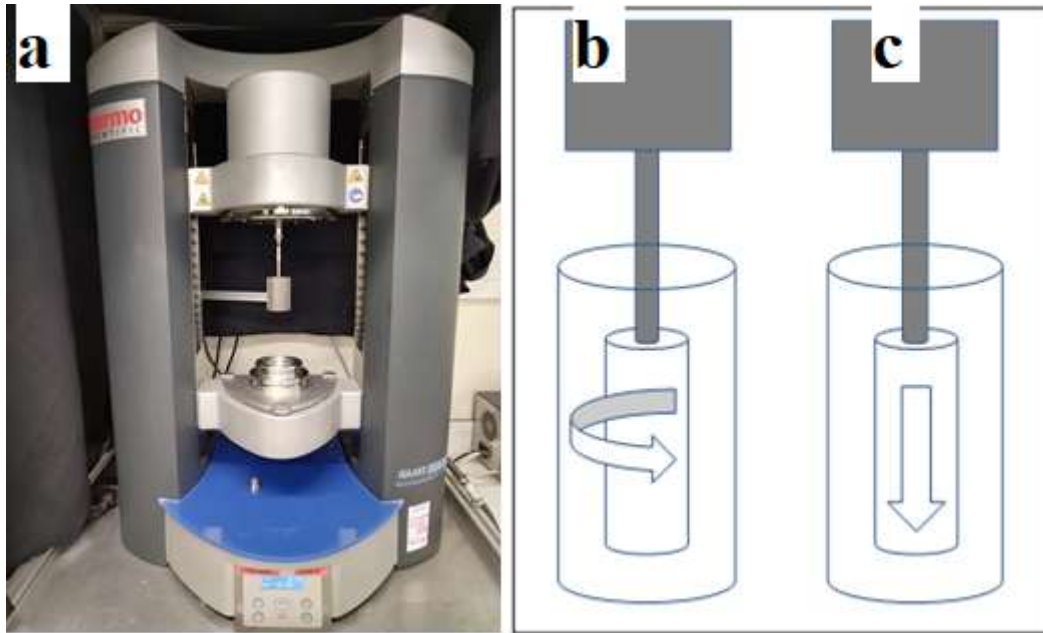
Pour les purées très concentrées, la vitesse angulaire n'a pas fonctionné afin d'obtenir des données fiables de viscosité. Le rhéomètre affichait des valeurs de viscosité illimitées en raison des difficultés pour l'instrument à trouver les couples de force précis qui donnent les taux de cisaillement appliqués. Ces derniers sont trop près de la limite de l'appareil. Dans ce cas, nous avons pensé exploiter la vitesse linéaire du bob (du haut vers le bas, Figure 62c) pour déterminer la viscosité avec un faible impact de la concentration de la purée sur l'instrument. La force axiale pour induire une vitesse linéaire constante dans la purée s'écrit selon la formule suivante:

$$\Delta F = -\tilde{\eta} \cdot \Delta L \cdot v \quad \text{Eq. 5-9}$$

où  $\Delta L$  est la longueur de déplacement du bob dans la purée,  $v$  est la vitesse linéaire du bob, et le  $\tilde{\eta}$  est proportionnel à la viscosité. La vitesse linéaire du bob dans la purée,  $v = -\Delta L/\Delta t$ , est obtenue pendant la phase de pénétration et est maintenue constante à  $0,2 \text{ mm.s}^{-1}$ . Cette méthode a été utilisée pour déterminer la viscosité de la purée concentrée. Il s'agit de la méthode d'extrusion inverse. Le taux de cisaillement est donné par l'expression suivante:

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{R_2 - R_1} \quad \text{Eq. 5-10}$$

$\dot{\gamma} = \frac{v}{R_2 - R_1}$  Calculé, donne  $\approx 0.1 \text{ s}^{-1}$ . Cette valeur a été utilisée pour comparer la viscosité obtenue par la méthode d'utilisation de vitesse angulaire (méthode conventionnelle d'utilisation de taux de cisaillement) et la viscosité obtenue par la méthode d'utilisation de vitesse linéaire (la méthode d'extrusion inverse). La purée de niébé concentrée à 15 % massique (PNC 15 %) qui est à faible viscosité (15 g de matière sèche MS dans 100 g de purée), a été utilisée pour la comparaison des deux méthodes afin de rationaliser le paramètre de viscosité  $\tilde{\eta}$  dans l'Eq.5-9 pour qu'il corresponde à la viscosité de l'Eq.5-8.



**Figure 62** : Photo de l'instrument expérimental (a), le test de cisaillement rotationnel (b), le test d'extrusion inverse (c)

Afin de déterminer les valeurs de complaisance dans les phases de fluage et de recouvrance, 50 g de purée (même quantité pour les autres concentration de purée) ont été chargés dans le cylindre extérieur (coupelle) du rhéomètre et des tests de balayage de contraintes entre 0,1 à 100 Pa ont été réalisées. En phase de fluage, les concentrations de 12%, 15%, 18% et 20% ont été soumises séparément à trois contraintes constantes de 10, 50 et 100 Pa. Chaque contrainte a été appliquée instantanément et maintenue pendant une durée de 300 secondes. Après la fin de la phase de fluage, la phase de recouvrance a été immédiatement démarrée, de sorte que la contrainte appliquée a été instantanément supprimée et la recouvrance due au contrainte a été mesurée pendant une période supplémentaire de 300 secondes. Les données des mesures de recouvrance par fluage ont été analysées à l'aide d'un modèle basé sur le calcul fractionnaire, qui a récemment été utilisé dans la littérature pour la caractérisation des produits alimentaires (Fang, *et al.*, 2020 ; Spotti *et al.*, 2017). L'équation 5-11 suivante représente l'approche de modélisation par dérivée fractionnaire :

$$J(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} = \frac{1}{\Gamma(\alpha+1)} (\lambda_1 t^\alpha H(t) - \lambda_2 (t - t_m)^\alpha H(t - t_m)) \quad \text{Eq. 5-11}$$

dans laquelle,  $J(t)$  est la complaisance du matériau (en  $\text{Pa}^{-1}$ ),  $\varepsilon(t)$  est la déformation instantanée mesurée en % de déformation,  $\sigma_0$  est la contrainte appliquée (Pa),  $t$  et  $t_m$  sont respectivement la durée ou le temps de l'expérience (s) et le moment du temps auquel la contrainte est supprimée pour démarrer le cycle de recouvrance. Ensuite,  $\Gamma$  est la fonction gamma expliquée par Abramowitz *et al.*, (1988) et  $H(t)$  est la fonction de Heaviside qui est définie comme :

$$\mathbf{H(t)} = \begin{cases} 0 & \text{si } t < 0 \\ 1 & \text{si } t \geq 0 \end{cases} \quad \text{Eq. 5-12}$$

Dans l'Eq.5-11, la valeur ( $0 < \alpha < 1$ ) indique l'ordre de la dérivée fractionnaire qui est un critère du degré d'élasticité du matériau viscoélastique. Lorsque  $\alpha = 0$ , le matériau est considéré comme parfaitement élastique, tandis que pour  $\alpha = 1$ , le matériau se comporte comme un matériau purement visqueux. De plus, les paramètres  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  présentent l'inverse du module d'élasticité de la purée de niébé de différentes concentrations et représentent la différence de comportement de ces purées de concentrations différentes, respectivement au cours des cycles de fluage et de recouvrance. Il a été donc rapporté dans la littérature que l'approche de modélisation par dérivée fractionnaire peut être utilisée pour les deux comportements correspondant à la zone viscoélastique linéaire (Linear Viscoelastic Region : LVR) et à la zone viscoélastique non linéaire (Non-Linear Viscoelastic Region : NLVR) (Spotti, *et al.*, 2017).

Le temps de recouvrance relative (The relative recovery at time  $t$  :  $RR_t$ ) peut être calculé en utilisant l'équation décrite par Chuang et Yeh (2006) avec une petite modification suivante :

$$\mathbf{RR_t} = \frac{J_{\max} - J(t_f)}{J_{\max}} \times \mathbf{100 \%} \quad \text{Eq. 5-13}$$

Dans ce cadre le  $J_{\max}$  (Complaisance maximale au fluage) se réfère à la complaisance de la fin de déformation ( $t = 300$  s), et  $J(t_f)$  est la valeur de la complaisance relative au moment final de l'expérience ( $t_f = 600$  s).

Les graphes et l'analyse des données ont été réalisés par les logiciels SigmaPlot version 11 et Microsoft Excel 2019, dans ce chapitre.

## 5.2.5 Etude granulométrique

### 5.2.5.1 Observation microscopique des particules de la purée Adowè

Les images de microscopie ont été prises à l'aide du microscope OLYMPUS IX73 avec un objectif à immersion dans l'huile  $\times 20$  pour observer la purée traditionnelle et la purée produite

au laboratoire (PNC : purée de niébé concentrée). Afin d'effectuer une bonne observation microscopique de la taille des granules d'amidon, les deux échantillons ont été dilués cinq fois dans de l'eau déminéralisée puis une goutte est posée sur une lame pour observation. La taille des granules d'amidon des deux échantillons a été mesurée manuellement à l'aide du logiciel « Image-J ».

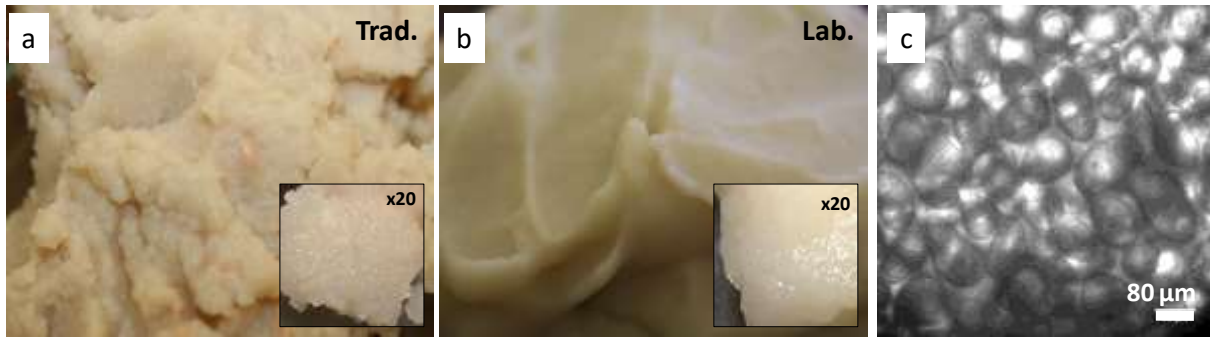
#### **5.2.5.2 Analyse de la taille des particules par granulométrie**

Pour la caractérisation physique des particules, le granulomètre « Mastersizer S » qui est un analyseur optique de particules a été utilisé. Son principe de fonctionnement est basé sur l'utilisation de la technique de la diffraction laser pour mesurer la taille de particules et la distribution granulométrique des particules. Cette technique consiste à mesurer l'intensité de la lumière diffusée lors du passage d'un faisceau laser à travers un échantillon de particules dispersées. Ces données sont ensuite analysées pour calculer la taille des particules qui ont créé l'image de diffraction. Le Mastersizer S peut fournir des résultats de taille dans la plage de 0,05  $\mu\text{m}$  à 3500  $\mu\text{m}$ . Les purées traditionnelle et PNC (Purée de Niébé Concentrée) ont été analysées.

### **5.3 Résultats**

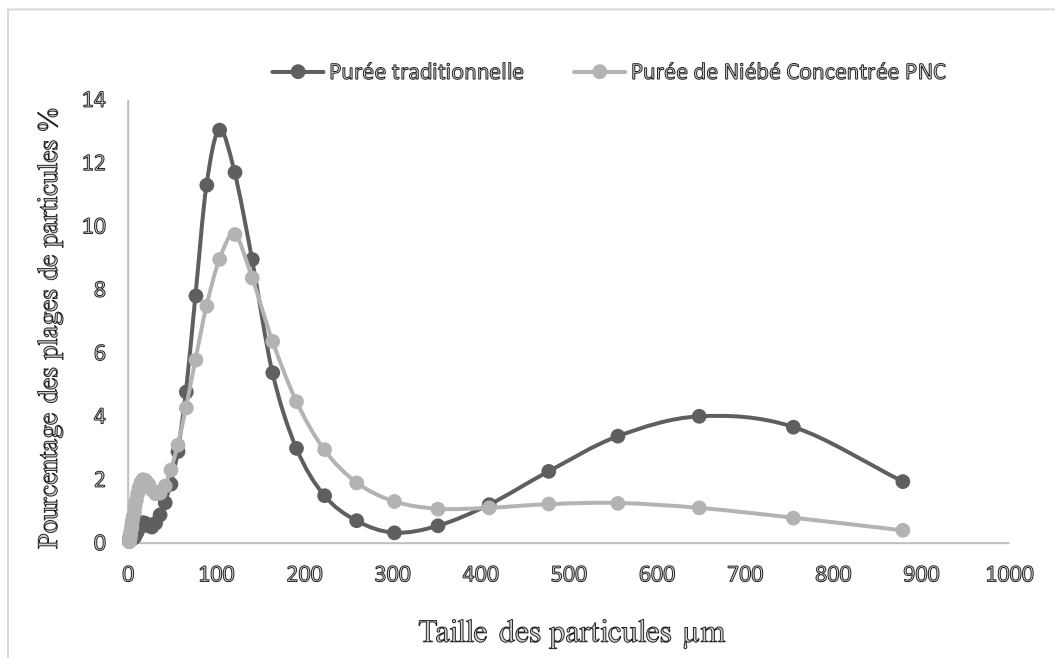
#### **5.3.1 Caractéristiques de la purée de niébé**

La purée traditionnelle de niébé nommée « Adowè » par les togolais est fabriquée en écrasant les graines dépelliculées à la spatule, après cuisson. La préparation qui a été étudiée dans ce travail a été réalisée en mettant en purée les graines dépelliculées cuites à l'aide d'un Ultraturrax contrairement à la méthode traditionnelle. La figure 63 suivante illustre la purée de niébé traditionnelle Adowè (a, Trad.) et de la purée de niébé produite en laboratoire (b, Lab.) (PNC). Les images insérées sont obtenues après grossissement  $\times 20$  et en (c) une image microscopique représentative à la fois de la purée de niébé traditionnelle et purée de niébé de laboratoire.



**Figure 63 :** Photos de la purée de niébé traditionnelle Adowè (a), la purée de niébé produite en laboratoire (b), Image microscopique des deux précédentes purées (c)

L'analyse granulométrique de la purée traditionnelle et de la purée de niébé concentrée (PNC) montre une forte similitude mais la purée traditionnelle contenait une seconde population de particules ou d'amas de plus grande taille dont la présence dans la PNC est négligeable (Figure 64). La différence de texture macroscopique entre les produits traditionnel et de laboratoire pourrait s'expliquer par des difficultés à écraser ces particules ou amas qui étaient 10 fois plus gros que l'amidon avec une spatule et à avoir une distribution homogène des granules d'amidon.

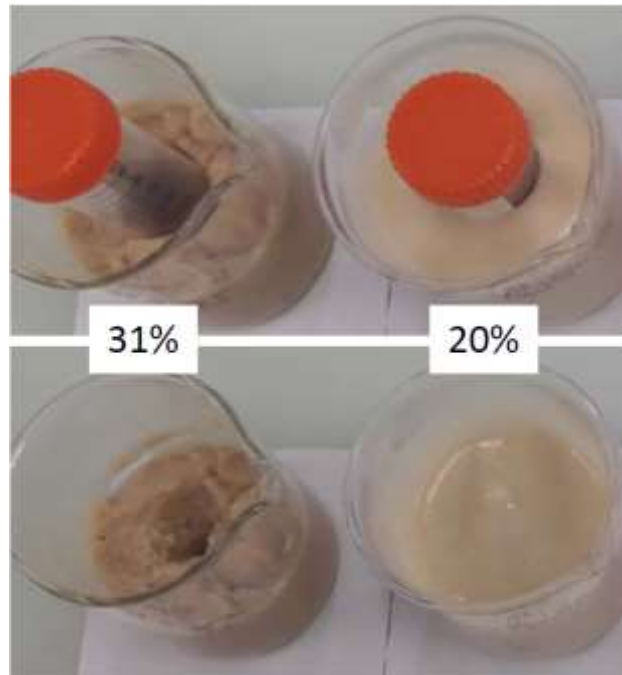


**Figure 64 :** Variation de la granulométrie de la purée traditionnelle de niébé et de la purée de niébé concentrée fabriquée en laboratoire (PNC)

La caractéristique la plus frappante illustrant la différence entre les deux types de produits, était la rugosité de leurs surfaces. La surface du produit traditionnel semble plus irrégulière avec une texture visuellement épaisse car la mise en purée des graines cuites par la spatule à une limite de réduction de la taille des particules liée à la force mécanique appliquée. Les purées produites en laboratoire par Ultra-turrax ont une surface lisse mais la consistance de la purée laisse durablement la forme du trait tracé à la surface des produits. Le grossissement  $\times 20$  des images (Figure 63a, b) montre le niveau microscopique de la surface du produit à la fois du produit traditionnel et du produit produite en laboratoire. La surface du produit traditionnel apparaît moins brillante que le produit produite en laboratoire. L'éclat de la surface est caractéristique de la douceur des produits ce qui démontre que la purée produite en laboratoire est plus lisse que les produits traditionnels. L'analyse granulométrique (Figure 64) des purées traditionnelles et de laboratoire montre une forte similitude avec une population de particules plus grosses de taille  $\approx 100 \pm 50 \mu\text{m}$  mais la purée traditionnelle contenait quelques populations de particules plus grosses ou des amas de  $600 \pm 200 \mu\text{m}$ . Ces populations de particule sont négligeables dans les produits de laboratoire. La différence de texture macroscopique entre les produits traditionnel et de laboratoire pourrait s'expliquer par des difficultés à écraser les particules ou amas 10 fois plus gros que l'amidon à la spatule et à avoir une répartition homogène des granules d'amidon.

La figure 65 ci-dessous illustre la comparaison entre les différentes concentrations de purée (produit de laboratoire) obtenues par dilution. Ainsi la dilution à 20 % a permis une distribution fine des granules d'amidon mais dans un état de bourrage très élevé de sorte que la sédimentation a été évitée. Par contre, la dilution de purée à une concentration inférieure à 12 % (masse / masse) a conduit à observer visuellement la sédimentation des granules au cours de l'expérimentation dont nous n'avons pas représenté en image. Lorsque les purées à 31 % (masse/masse) ont été diluées à 20 % (masse/masse), les purées dérivées ont perdu leur capacité à retenir les cavités. Cependant, elles laissent des lignes lisses à leur surface. Cette caractéristique montre un niveau de concentration toujours élevé des purées à 20 % (Figure 65).





**Figure 65 :** Photos montrant la fluidité de la purée de niébé en fonction des concentrations (31 % et 20 %)

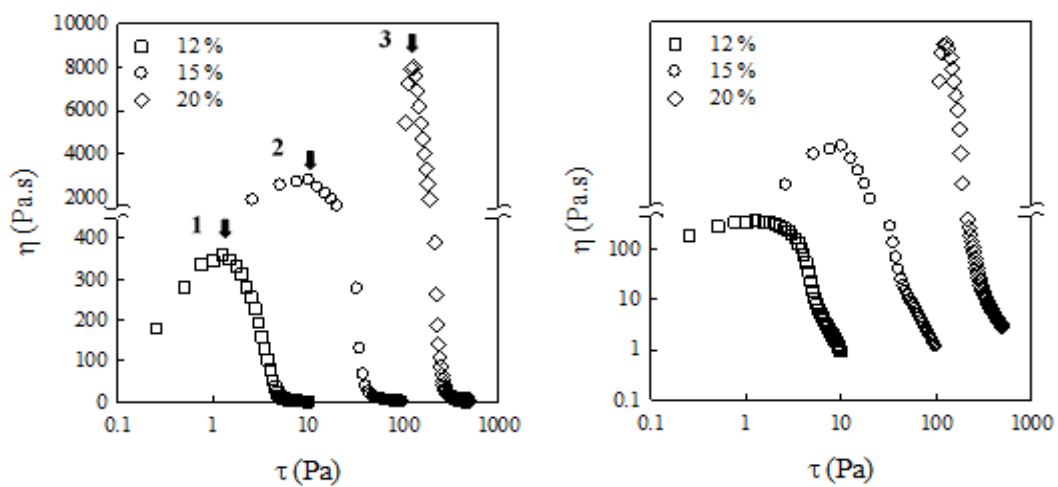
### **5.3.2 Propriétés rhéologiques de la purée Adowè : influence de la salive**

#### **5.3.2.1 Viscosité de cisaillement de la purée Adowè extrêmement concentrée**

Le mode de cisaillement oscillatoire classique n'est pas approprié pour mesurer avec précision la viscosité d'une purée hautement concentrée à l'aide du rhéomètre dont nous disposons. La raison est que, pour les différents taux de cisaillement appliqués, le rotor ne peut parfois pas tourner sans que les tests ne donnent des valeurs de viscosité infiniment grandes et inexploitable. Le rotor n'arrive pas à cisailier la purée. Compte tenu de la difficulté à mesurer avec précision la viscosité de la purée de concentration 31% (masse/masse), nous avons voulu étudier dans un premier temps les concentrations inférieures à 31%. Les résultats sont illustrées sur la figure 66 ci-dessous montrant la dépendance à la contrainte de la viscosité de trois échantillons de concentrations : 20 %, 15 % et 12 %. Les essais montrent un comportement rhéofluidifiant pour les concentrations de 12 %, 15 % et 20 %, lorsque la contrainte dépasse respectivement les seuils de : 1 Pa, 10 Pa et 120 Pa représentée par les flèches sur la figure 66. La purée semble présenter un comportement rhéoépaississant dans l'intervalle de contrainte [0, 1 Pa] et [0, 10 Pa] pour respectivement les concentrations 12 % et 15 %, mais pas pour la

concentration 20 % dont l'intervalle de contrainte est de [100 Pa, 120 Pa]. La viscosité n'était pas mesurable dans la gamme de contraintes [0, 100 Pa] pour la concentration 20 %.

La figure 66 suivante indique aussi donc le rapport entre la contrainte et la viscosité des concentrations de 12 %, 15 % et 20 % de la purée Adowè. Cela démontre clairement l'influence de la concentration sur le seuil respectivement des différentes concentrations de purées. Ce seuil est illustré par les flèches 1, 2 et 3 qui correspondent respectivement au couple (contrainte, taux de cisaillement) : (1 Pa,  $3 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ ), (10 Pa,  $3 \times 10^{-1} \text{s}^{-1}$ ) et (120 Pa,  $15 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ ). Nous déduisons un comportement de fluide à seuil pour la purée dont la concentration est comprise entre 12 et 20%.

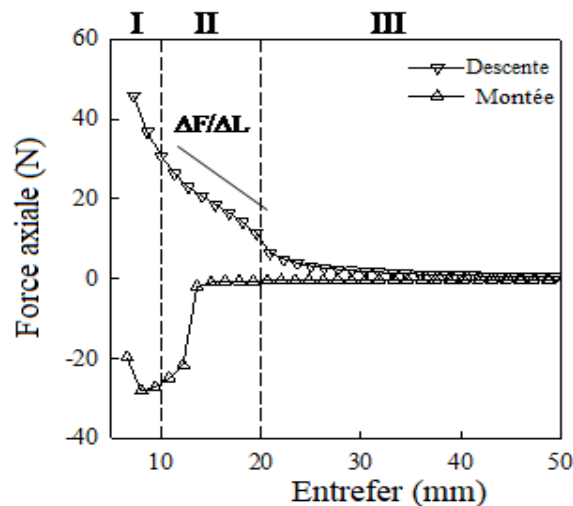


**Figure 66 :** Variation de la viscosité en fonction des contraintes appliquées sur différentes concentrations (12%, 15% et 20%) de purée de niébé Adowè

Cette analyse témoigne que la plage de contraintes où il est difficile d'utiliser notre rhéomètre pour mesurer la viscosité de la purée s'élargit au fur et à mesure que la concentration dépasse 20 %. Par conséquent, nous avons proposé une méthode alternative pour effectuer la mesure de la viscosité de la purée produite au laboratoire à 31 % (concentration habituelle de la purée traditionnelle) en utilisant le même rhéomètre. Il s'agit de la méthode d'extrusion inverse (décrite en amont) qui consiste à utiliser le mode de pénétration verticale dans la purée à une vitesse linéaire constante. Le taux de cisaillement est calculé par rapport à un gradient de vitesse constant de 0,2 mm/s que nous avons imposé à l'appareil. Ce taux calculé d'après l'Eq.5-10 donne une valeur de  $0,1 \text{ s}^{-1}$  et qui est estimé à partir de l'espace radial de 2,5 mm. Nous avons supposé que les modes de cisaillement en vitesse linéaire et en vitesse angulaire donnent

respectivement les paramètres de viscosité  $\tilde{\eta}$  et  $\eta$ , respectivement déterminés par les équations 5-9 et 5-8. Par comparaison nous avons appliqué les deux modes de cisaillement sur la concentration 15 % pour obtenir le facteur entre les deux paramètres de viscosité. Le test pour 15 % a donné  $\tilde{\eta} \approx 1400 \times \eta$  après tout calcul effectué.

La figure 67 ci-après montre, trois régimes : I, II et III qui traduisent le déplacement du bob de la position de 50 mm (de l'extérieur de la purée) à 2 mm (à l'intérieur de la purée). Dans le troisième régime (III) la résistance provient principalement de l'air mais dans ce régime le contact du bob avec la purée commence à augmenter faiblement à partir de 40 mm pour atteindre le plein contact à partir d'un écart de 20 mm. La pénétration du rotor dans la purée à partir de l'entrefer 20 mm (régime II) a montré une forte augmentation de la résistance à partir de l'entrefer 10 mm qui pourrait être causée par l'effet de compactage dans le régime (I) étant donné que le rotor n'a pas atteint l'entrefer 2 mm avant que le test soit automatiquement arrêté car la force axiale de pénétration dépasse la limite de force (50 N) de l'instrument. Par conséquent, la viscosité de la purée a été caractérisée dans le régime (II) sur 10 mm de distance de déplacement du rotor dans la purée. Les essais du retrait du rotor de la purée ont montré que le rotor sortait de l'échantillon entre 15 mm et 20 mm qui se situe dans le régime (II) de contact complet du rotor et de l'échantillon.



**Figure 67 :** Courbes montrant l'application de la méthode d'extrusion inverse sur une purée de niébé de forte concentration à 31 %

Nous notons un accroissement de la force axiale, lorsque le rotor rentre dans la purée. Cependant, cette force supplémentaire due à la résistance du produit disparaît hors de la purée.

En utilisant l'équation 5-9, la viscosité a été calculée comme :

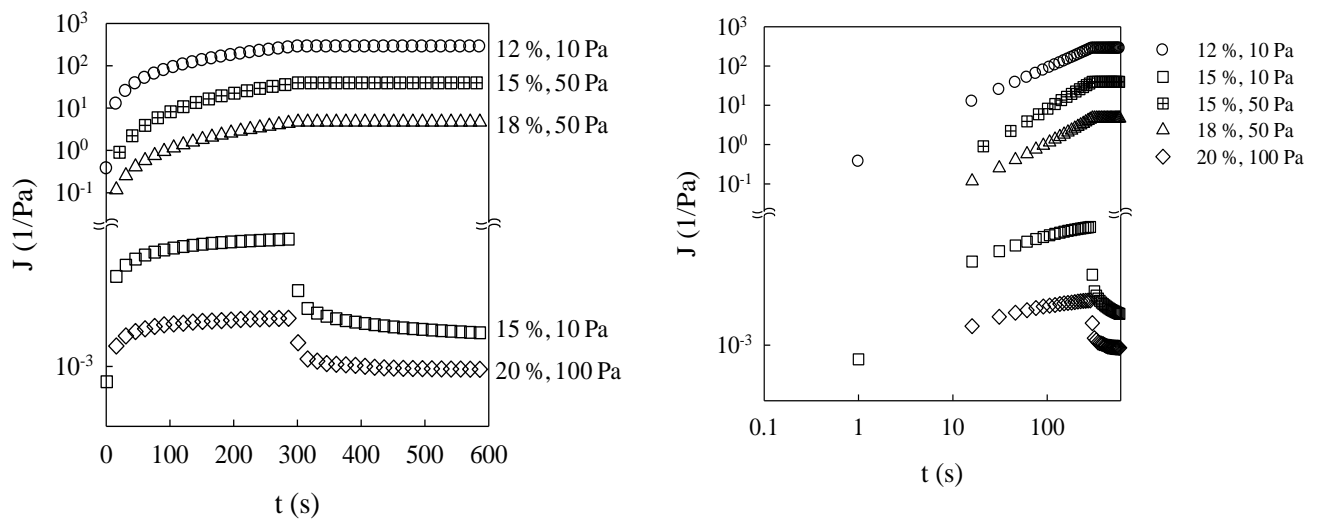
$$\tilde{\eta} = - \frac{\Delta F}{\Delta L \times v} \quad \text{Eq. 5-14}$$

où la pente dans le régime (II) de la figure 67 est de -1,62 N/mm. Par conséquent, la viscosité de la purée 31 % (masse/masse) à un taux de cisaillement  $\approx 0,1 \text{ s}^{-1}$  est de  $\tilde{\eta} \approx 8 \text{ MPa.s}$  ou de manière équivalente  $\eta \approx 6 \text{ kPa.s}$  par l'utilisation de la méthode d'extrusion inverse.

Nous rappelons que le rapport  $\tilde{\eta} / \eta$  ne donne pas un rapport indépendant de type de fluide modèle. Cette partie sera explorée dans une autre étude avec des fluides modèle.

### 5.3.2.2 Complaisance au fluage et recouvrance

Les valeurs de complaisance ( $J$ , 1/Pa) obtenues pour les échantillons de purée de graines de niébé en fonction du temps pour le test de fluage ( $0 < t < 300 \text{ s}$ ) et la recouvrance correspondante ( $300 \leq t \leq 600 \text{ s}$ ) sont représentées sur la figure 68 ci-après.



**Figure 68 :** Courbes montrant les réponses des différentes purées de niébé soumises aux tests de fluage - recouvrance

Les paramètres viscoélastiques obtenus à partir des expériences de fluage-recouvrance des échantillons et les valeurs de recouvrance relatives calculées sur la base des équations 5-11 et 5-13 sont enregistrées dans le tableau 33 ci-dessous. Les données expérimentales de la complaisance  $J(t)$  ont été ajustées avec le modèle de calcul fractionnaire ( $0,983 \leq R^2 \leq 0,999$ ).

Le tableau 33 montre les paramètres d'ajustement du modèle basé sur la dérivée fractionnaire et les paramètres de recouvrance relative obtenus pour décrire le comportement de fluage - recouvrance de la purée de niébé dépelliculée Adowè à différentes contraintes à 25 °C.

**Tableau 33** : Paramètres d'ajustement du modèle basé sur la dérivée fractionnaire

Echantillons	Contrainte (Pa)	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$R^2$	$RR_t$ (%)
PNC-12%	10	0.99	77.90	80.40	0.999	0.00
	50	0.99	414.72	418.21	0.999	0.00
	100	0.98	529.73	579.20	0.999	0.00
PNC-15%	10	0.14	0.19	0.15	0.992	66.15
	50	0.99	7.33	7.88	0.996	0.00
	100	0.99	61.22	68.60	0.999	0.00
PNC-18%	10	0.12	0.27	0.19	0.993	61.82
	50	0.99	0.87	0.94	0.997	0.03
	100	0.99	16.58	18.50	0.999	0.00
PNC-20%	10	0.13	0.04	0.03	0.990	70.45
	50	0.11	0.06	0.04	0.991	59.29
	100	0.11	0.08	0.05	0.983	44.57

Sur la base des résultats de recouvrance (tableau 33), une contrainte de 10 Pa a moins d'effet destructeur pour la capacité de recouvrance des concentrations égales et supérieures à 15 % dans l'intervalle de temps de 300 s. Dans notre étude, la contrainte qui peut soutenir la capacité de recouvrance de l'échantillon augmente à partir de la valeur 10 Pa jusqu'à 100 Pa pour la concentration de 20 % comme le montre les valeurs du tableau 33 ci-dessus. Par conséquent, un comportement de type viscoélastique est observé pour les concentrations de 15 % et 20 % avec des contraintes respectives de 10 Pa et 100 Pa. Les autres concentrations de la figure montrent un comportement de type visqueux liquide (Tarhan *et al.*, 2016). Ces comportements indiquent que des systèmes d'encombrement ou de blocage (Jamming) plus forts se forment à des concentrations plus élevées de la purée. Cela indique qu'à des concentrations élevées, cette purée se comporterait donc comme un gel. Sur la base des résultats du paramètre  $\alpha$  (tableau 33), à toutes les contraintes d'étude, l'échantillon 12 % présente un comportement visqueux liquide ( $\alpha \geq 0,98$ ), tandis que l'échantillon 20 % présentait un comportement élastique ( $0,13 \leq \alpha$ ) (Fang, *et al.*, 2020). De plus, pour l'échantillon 15 % et 18 %, le comportement élastique a été trouvé à la contrainte la plus faible de 10 Pa ( $\alpha = 12 - 14$ ). Les constantes  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  indiquent l'inverse du module d'élasticité de la purée respectivement les cycles de fluage et de recouvrance. Nous

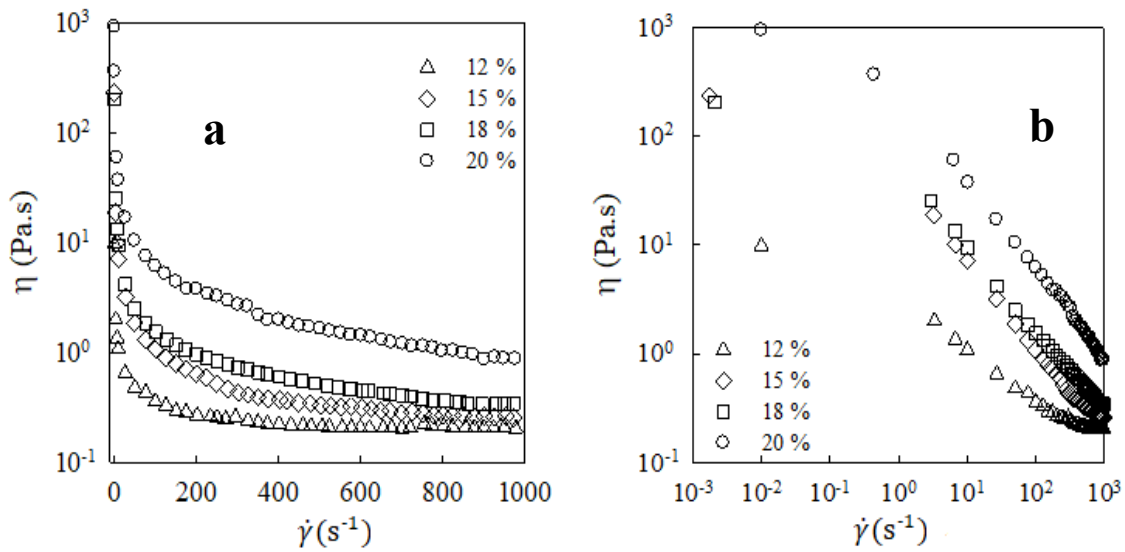
pouvons en déduire que le module d'élasticité des purées augmente avec l'augmentation de la concentration (de 12 % à 20 %). Par contre, quelle que soit la concentration des échantillons, le module d'élasticité pour les cycles de fluage et de recouvrance diminue avec l'augmentation de la contrainte appliquée (de 10 Pa à 100 Pa) selon les valeurs du tableau 33 ci-dessus.

Comme il est évident, la caractérisation de recouvrance a été observée pour les échantillons qui présente un comportement de type gel, et seuls les échantillons de 20 % avaient cette caractéristique à toutes les contraintes appliquées ( $44,57 \% \leq RR_t \leq 70,45 \%$ ). Il est rapporté dans la littérature qu'un matériau avec une petite différence entre les paramètres  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  a un degré de déformation permanente plus faible et une plus grande capacité de recouvrance (Spotti, *et al.*, 2017). Ce qui est en accord avec les résultats obtenus dans cette étude, de sorte que la différence entre les paramètres mentionnés pour l'échantillon de 20 % se situe dans la plage de 0,01 à 0,03 pour  $\alpha$ .

### **5.3.2.3 Influence de la salive sur les différentes concentrations de purée Adowè**

La figure 69 ci-dessous montre les courbes d'écoulement des échantillons (12 %, 15 %, 18 % et 20 %) de purée de niébé avec allure de comportement d'écoulement rhéofluidifiant pour tous les échantillons. Lorsque le taux de cisaillement augmente, la viscosité diminue.

La salive a été ajoutée à la purée à ces concentrations de purée dans le but d'étudier les propriétés d'écoulement du mélange à 37 °C. Le taux de cisaillement pour ce test est de  $50 \text{ s}^{-1}$ , ce qui est comparable à la condition de cisaillement oral d'une jeune personne. Les quatre concentrations ont été diluées pour avoir un rapport des concentrations initiales aux concentrations finales de facteur de dilution 1,13 en utilisant la salive d'une part et d'autre de l'eau comme référence. Nous avons obtenu pour les tests : la série d'échantillons en présence de salive et la série de référence (eau). Les échantillons ont été cisailés pendant 120 secondes et la dépendance au temps de la viscosité pour les deux séries de concentration a été enregistrée à des fins de comparaison. L'objectif pour ce test est d'évaluer l'impact de la salive sur la viscosité de la purée à différentes concentrations.



**Figure 69 :** Courbes de viscosité ( $\eta$ ) des différentes concentrations de purée Adowè, log/lin (a) et log/log (b)

Le modèle de loi de puissance (Eq. 5-15) a bien ajusté les données de viscosité et du taux de cisaillement (Steffe 1996):

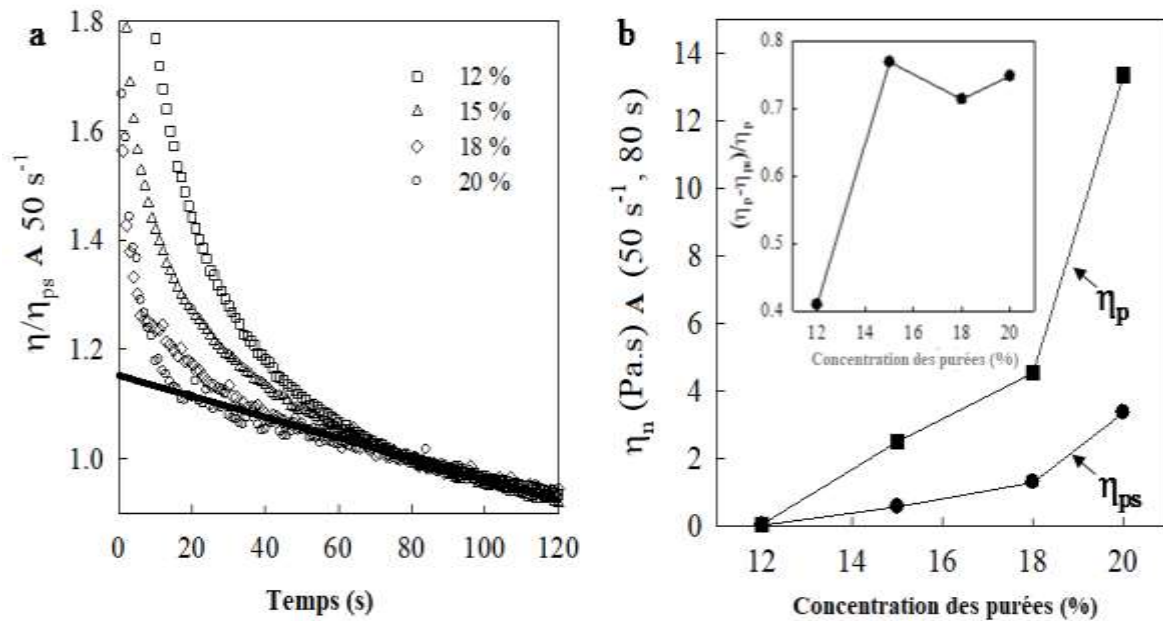
$$\eta = k\dot{\gamma}^{(n-1)} \quad \text{Eq. 5-15}$$

où,  $k$  ( $\text{Pa.s}^n$ ) et  $n$  sont respectivement le coefficient de consistance d'écoulement en loi de puissance et l'indice de comportement d'écoulement. Les valeurs des paramètres de mesure obtenus à partir des expériences sont consignées dans le tableau 34 ci-après.

**Tableau 34 :** Paramètres du modèle de la loi de puissance pour les purées de niébé à différentes concentrations et viscosités apparentes à taux de cisaillement ( $50 \text{ s}^{-1}$ )

Echantillons	$\eta = k\dot{\gamma}^{(n-1)}$				$\eta_{50} \text{ (Pa.s)}$
	$k(\text{Pa.s}^n)$	$n$	$R^2$	RMSE	
12%	3,27	0,55	0,98	0,04	0,483
15%	50,11	0,17	0,99	0,07	1,884
18%	60,83	0,19	0,99	0,09	2,522
20%	203,45	0,16	0,99	0,41	10,5

La figure 70 ci-après, montre en : a) la dépendance au temps de la viscosité normalisée en présence de salive pour les concentrations (12 %, 15 %, 18 % et 20 %), b) les valeurs de la viscosité normalisée ( $\eta_n$ ) à ( $50 \text{ s}^{-1}$ , 80 s) en fonction des différentes concentrations de purée : en l'absence de salive ( $\eta_p$ ) et en présence de salive ( $\eta_{ps}$ ). La figure insérée dans 70 b, montre l'allure de la baisse de la viscosité des différentes concentrations par l'ajout de salive.



**Figure 70 :** Courbes montrant l'effet de la salive sur les différentes concentrations de la purée de niébé Adowè

La viscosité ( $\eta$ ) fonction du temps des quatre concentrations pour la série de purée en présence de salive a été tracée ensemble sur la figure 70a en divisant les données de viscosité par les valeurs de viscosité à 80 secondes au taux de cisaillement  $50 \text{ s}^{-1}$  notées ( $\eta_{ps}$ ). Les valeurs de viscosité à 80 s pour les références ont été notées ( $\eta_p$ ). Les valeurs de viscosité à 80 s des deux séries ont été affichées ensemble sur la figure 70b pour montrer l'influence de la salive. L'impact relatif de la salive sur la viscosité est noté  $(\eta_p - \eta_{ps})/\eta_p$  et est représenté par la figure insérée dans 70b. La viscosité des purées a chuté en présence de salive, ce qui est une démonstration de l'influence que la salive pouvait avoir sur la viscosité de la purée dans des conditions orales. Cependant il faut noter que le degré de l'impact dépendrait du type de concentrations. Ainsi la viscosité de la purée a baissé de 40 % pour la purée concentrée 12% et de  $75 \pm 3$  % pour les concentrations comprises entre 15 % et 20 % (figure insérée dans 70b). Nous déduisons que le degré d'influence de la salive sur la viscosité change à une concentration comprise entre 12 %



et 15 % ce qui conduit à situer trois types de concentrations : en dessous de  $\approx 15$  % où l'impact de la salive est faible ( $< 50$  %) comme type de concentration dilué ou liquide, entre  $\approx 15$  % et  $\approx 20$  % lorsque l'impact de la salive est élevé ( $> 50$  %) comme type de concentration intermédiaire et la plage de concentration supérieure à 20 % comme type de concentration extrêmement concentrée ou solide où l'impact de la salive est à nouveau faible. L'optimum de l'impact salivaire sur la baisse de la viscosité aurait pu être trouvé à la concentration comprise entre 12 % et  $\approx 15$  % comme concentration critique optimale, mais le manque de précision sur cette valeur de concentration conduit à la situer à  $\approx 15$  %. Le type de concentration intermédiaire pourrait être recommandé aux personnes souffrant de troubles de la déglutition ou des enfants de bas âges parce qu'une petite quantité de salive est nécessaire pour avoir un impact considérable sur la viscosité.

## 5.4 Discussion

L'analyse des courbes d'écoulement des échantillons de purée de niébé montrent un comportement d'écoulement rhéofluidifiant pour tous les échantillons (Figure 69). Au fur et à mesure que la concentration de la purée de graines de niébé augmente de 12 % à 20 % (masse/masse), son coefficient de consistance d'écoulement ( $k$ ) augmente considérablement (de 3,27 à 203,45 Pa.s<sup>n</sup>) selon les valeurs du tableau 34 ci-dessus. Par contre, son indice de comportement d'écoulement ( $n$ ) diminue (de 0,55 à 0,16), traduisant un comportement plus pseudo-plastique (Tableau 34). Le même résultat a été rapporté dans la littérature chez les purées d'amidon natif et modifié par Yousefi et Razavi (2016), les purées d'amidon-glucides (Liu *et al.*, 2019 ; Ma *et al.*, 2019 ; Pourfarzad *et al.*, 2021 ; Yousefi et Ako, 2020) et les purées de farine de légumineuses et de céréales par Pang *et al.* (2020).

L'impact de la salive est optimal autour de concentration 15 % (masse/masse) caractérisée par une baisse de 75 % de la viscosité de la purée de niébé. La viscosité diminue de 40 % et 75 % en présence de salive pour respectivement les concentrations inférieures et supérieures ou égale à 15 % (masse/masse). L'effet de la salive sur la purée s'explique par l'hydrolyse enzymatique de l'amidon par l'amylase salivaire (enzyme contenu dans la salive). Ainsi près de 60 % d'amidon de la purée Adowè est hydrolysée par l'enzyme digestive de la salive l' $\alpha$ -amylase (Pellerin et Pellat, 1986 ; Edgar, 1992 ; Schenkels *et al.*, 1995).

Les lignes directrices pour les purées de légume selon la norme canadienne du Régime National de la Dysphagie (National Dysphagia Diet : NDD) fournissent une approche complète et

clinique dans la gestion de la dysphagie. Sur la base des limites NDD, un aliment liquide ou de type liquide avec une viscosité supérieure à 0,35 Pa.s (ressemblant à du miel) convient aux personnes atteintes de dysphagie (Garin *et al.*, 2014). La viscosité apparente  $\eta_{50}$  à  $50 \text{ s}^{-1}$  et à température ambiante ( $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) est généralement utilisée comme mesure rhéologique standard pour la classification des aliments dans la prise en charge de la dysphagie (Cho et Yoo, 2015, Talens *et al.*, 2021). Selon cette classification, nous pouvons en déduire que tous les échantillons de purée de graines de niébé Adowè ayant une concentration supérieure à 12 % (masse/masse) examinés dans ce travail pourraient entrer dans la catégorie des aliments faciles à avaler par les personnes atteintes de dysphagie. Ainsi ce résultat nous laisse penser que les échantillons de concentration entre 15 % et 20 % pourraient convenir à des enfants de bas âges ayant débuté une transition alimentaire et à des personnes ayant des difficultés de mastication et de déglutition.

## Conclusion

La purée ainsi produite au laboratoire a montré certaines différences à l'échelle macroscopique, mais aussi des similitudes à l'échelle microscopique avec la purée traditionnelle produite au Togo. Le test de fluage-recouvrance a démontré la capacité de recouvrance de la purée. Cette capacité de recouvrance s'amenuise lorsque la concentration de la purée diminue et que la contrainte appliquée augmente. La viscosité de la purée de concentration 31 % (masse/masse) a été déterminée à température 23 °C par la méthode d'extrusion inverse dont la valeur est  $\approx 6$  kPa.s à taux de cisaillement équivalent à  $\approx 0,1$  s<sup>-1</sup>. Les purées de concentration (12%, 15%, 18% et 20%) présentent un comportement d'écoulement de type rhéofluidifiant par cisaillement et une viscosité décroissante dans le temps à taux de cisaillement constant. Par conséquent, le comportement d'écoulement de la purée est assimilé à un fluide non-newtonien à seuil et de capacité de recouvrance qui s'amointrit en présence de salive. L'impact de la salive est plus important pour la purée de concentration 15 % pour laquelle la viscosité a baissé de 75 %.

Les résultats de cette étude pourraient être utiles pour optimiser la qualité de la texture de la purée de niébé dépelliculé Adowè en perspective d'une valorisation à une grande échelle : Production industrielle.

# **Conclusion générale**

Cette étude a dans un premier temps concerné l'état de l'art sur le niébé face aux défis de l'alimentation et des carences protéiques des populations des pays en voie de développement. Il a été ensuite question d'évaluer l'état de connaissance et de consommation de la purée de niébé dépelliculé Adowè au sein de la population du Togo. Nous avons abordé l'étude de la transition entre les graines crues et cuites, la détermination de l'énergie d'activation de cuisson. La transformation du niébé en purée a été explorée sous l'angle de l'influence des procédés de prétraitement (trempage et dépelliculage) sur les facteurs antinutritionnels des graines et l'influence de la salive sur la viscosité de la purée.

La purée de niébé dépelliculée (Adowè) représente une forme de préparation susceptible de débarrasser les graines de niébé des facteurs antinutritionnels. Elle se présente sous forme d'un produit fini qui serait facilement ingérable et assimilable notamment par les enfants de très bas âge ne disposant pas encore d'une importante capacité de mastication. Les femmes enceintes et allaitantes ainsi que d'autres personnes peuvent bénéficier de cette purée car elles ont des besoins d'une alimentation riche en protéines pour renforcer leurs défenses immunitaires, la croissance et la réparation tissulaire aussi bien pour elles que pour les bébés qu'elles portent. Cependant il est remarqué que les habitudes alimentaires des enfants dépendent de celles de leurs parents et du milieu dans lequel ils grandissent. Par conséquent l'importance et la fréquence de consommation de Adowè dans l'alimentation des nourrissons sont dictées par les parents. Dans la présente étude, le facteur principal de la non consommation de Adowè chez les enfants est la préférence des autres formes de préparation plus facile du niébé. Cela est en étroite relation avec les difficultés rencontrées (temps de trempage, dépelliculage et la technique culinaire) dans la préparation de cette purée dans les ménages. D'autre part, il y a une indisponibilité et un prix élevé de vente de Adowè sur le marché ou dans la rue. Ces contraintes rendent sa fréquence de consommation épisodique. La purée de niébé dépelliculé (Adowè) est bien connue et appréciée au Sud-Togo mais peu connu sur l'ensemble du territoire. Il est donc préférable de développer des procédés de transformation qui permettront de mettre à la disposition de la population une forme de purée rapide d'accès dans le temps et dans l'espace. Notre étude a été menée sur la base d'une enquête alimentaire par échange verbal sur la quantité d'aliment consommée. Cette technique présente des limites du fait des difficultés à estimer la quantité d'aliment consommé en rapport avec les poids des aliments standardisés et les valeurs nutritionnelles codifiées. Cependant, c'est une première étude au Togo et cela constitue les bases des prémices de documentation du système de production et de consommation de la purée Adowè en vue de sa future valorisation.

Les graines de niébé proviennent de plusieurs variétés dont la taille, le poids, la texture de la pellicule et la composition en sont les attributs spécifiques. Les graines sont cuites lorsque les réactions physiques et chimiques endogènes sont effectuées. Par conséquent, il apparaît que l'activation des réactions de dénaturation des protéines et de gélatinisation de l'amidon soit le point de départ de la cuisson des graines, bien qu'avant ces réactions, les graines absorbent de l'eau pendant la cuisson à 95 °C. Le temps de cuisson des graines se situe entre 75 et 90 min, car durant cette période, il a été observé que l'indice d'élasticité a fortement diminué tandis que l'indice de viscosité a fortement augmenté. De plus juste avant, c'est-à-dire entre 30 et 75 min, les indices d'élasticité et de viscosité sont pratiquement constant et caractérisent ainsi la transition du processus de cuisson. Cette transition traduit le déroulement des réactions physico-chimiques dont le phénomène de gélatinisation. La détermination de ces grandeurs physiques a été possible grâce à l'exploitation d'une fonction exponentielle étirée et d'une asymptotique pour ajuster le comportement de fluage de l'échantillon après le test de compression. Les paramètres d'ajustement sont respectivement corrélés aux forces appliquées dans le régime linéaire. Ainsi, il est déduit que ces indices de viscoélasticité sont en corrélation avec la transition de la réaction de cuisson. Le processus d'absorption d'eau par les graines de niébé a été caractérisée par la quantité d'eau absorbée par unité de temps et s'est avérée dépendante de la température. La cinétique d'absorption d'eau et la température ont permis de déterminer l'énergie d'activation du processus de cuisson selon la loi d'Arrhenius. Le coefficient d'énergie d'activation est de 28,35 kJ/mol au-dessus de 60 °C et de 15,30 kJ/mol pour des températures inférieures à 50 °C. Si traditionnellement les graines sont cuites à des températures voisines de la température d'ébullition de l'eau, ces résultats montrent que la cuisson serait possible à plus basse température mais au-dessus de 60 °C. Cela fera économiser de l'énergie.

Il a été constaté que les différents procédés de transformation du niébé en Adowè ont des effets significatifs sur la qualité nutritionnelle de la purée. Ainsi, les prétraitements technologiques ou procédés de trempage des graines non dépelliculées à différents temps suivis de l'étape de cuisson, ont occasionné une perte en phytates de 20 % en moyenne pour les trempages de durée inférieure ou égale à 72 h tandis qu'elle est de 10 % en moyenne pour les trempages de plus de 72 h. Par contre, les pertes en tanins et en polyphénols totaux sont très importantes de l'ordre de 27 % et 65 % en moyenne respectivement par rapport au niébé brut. Les traitements technologiques de blanchiment par trempage des graines de niébé dépelliculées dans une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 1 % à différents temps avant la cuisson, ont favorisé d'importantes pertes en phytates, en polyphénols totaux et en tanins de 57 %, 65 % et 27 % en

moyenne respectivement. Au niveau des purées, les pertes en phytates atteignent un taux de 64 % après 24 h de trempage pour les purées issues des graines dépelliculées et un maximum de 74 % pour les purées issues des graines trempées pendant 72 h. Pour ces deux types de purées, les pertes en polyphénols totaux et en tanins sont respectivement de 66% et 26 % pour les 24 h de trempage et de 65 % et 26 % pour 72 h de trempage. La purée traditionnelle issue de la méthode ancestrale de la production de Adowè a enregistré des pertes en phytates, polyphénols et tanins respectivement de 17 %, 57,89 % et de 17,7 %. Les résultats de ces travaux ont également indiqué que les phytates sont répartis entre les cotylédons et les pellicules de la graine du niébé brut avec une plus légère concentration dans les cotylédons alors que les polyphénols totaux et les tanins sont localisés dans les pellicules. Afin de rendre plus biodisponible les éléments nutritifs de la purée Adowè, le procédé de production de purée Adowè suivant serait recommandé: dépelliculage des graines de niébé puis trempage pendant 24 h, ensuite passage à l'opération de cuisson et réduction des graines cuites en purée.

Le test de fluage-recouvrance a démontré la capacité de recouvrance de la purée. Cette capacité de recouvrance s'amenuise lorsque la concentration de la purée diminue et que la contrainte appliquée augmente. La viscosité de la purée de concentration 31 % (masse/masse) a été déterminée à température 23 °C par la méthode d'extrusion inverse dont la valeur est  $\approx 6 \text{ kPa.s}$  à taux de cisaillement équivalent à  $\approx 0,1 \text{ s}^{-1}$ . Les purées de concentration (12%, 15%, 18% et 20%) présentent un comportement d'écoulement de type rhéofluidifiant par cisaillement et une viscosité décroissante dans le temps à taux de cisaillement constant. Par conséquent, le comportement d'écoulement de la purée est assimilé à un fluide non-newtonien à seuil et de capacité de recouvrance qui s'amointrit en présence de salive. L'impact de la salive est plus important pour la purée de concentration 15 % pour laquelle la viscosité a baissé de 75 %. Les résultats de cette étude pourraient être utiles pour optimiser la qualité de la texture de la purée de niébé dépelliculé Adowè en perspective d'une valorisation à une grande échelle : Production industrielle.

# Perspectives



Dans les perspectives de recherches, il serait très intéressant d'étudier l'influence du milieu de cuisson (sel, pH, sucre ...) et autres traitements physiques des semences (de la récolte à la cuisson) sur le temps de cuisson et la façon dont les graines de niébé se comporteront mécaniquement lorsqu'elles subissent des tests de compression. Cela favoriserait l'obtention de nouvelles textures alimentaires commercialement acceptables avec une réduction de l'énergie de cuisson. Dans la même optique, étudier les causes liées au retard « supposé » de cuisson des graines de niébé ou de légumineuses lorsque l'opération de cuisson est interrompue puis reprise après un certain temps de pause.

Il serait également intéressant d'élargir l'étude biochimique à la biodisponibilité *in vivo* et *ex vivo* des éléments minéraux et la digestibilité de l'amidon et des protéines de la purée Adowè traditionnelle et de laboratoire (améliorée).

Une évaluation sensorielle pourrait également compléter les études rhéologiques réalisées, afin de mieux caractériser les propriétés organoleptiques de la purée Adowè à travers l'appréciation d'un panel de consommateur.

Une formulation d'une purée déshydratée et améliorée (standardisation de la qualité) doit être envisageable afin de pouvoir, offrir à un plus grand nombre de personnes au Togo et dans le monde, la possibilité d'accéder dans le temps et dans l'espace, à un produit nutritionnellement plus riche (protéines, glucides et minéraux totaux) que la purée traditionnelle et des bouillies à base de céréales.

# Références bibliographiques

**Abdullah A., Baldwin R. E., 1984.** Mineral and vitamin contents of seeds and sprouts of newly available small-seeded soybeans and market samples of mung beans. *Journal of Food Science*, 49, 656-657.

**Abecassis J., 1991.** La mouture de blé dur. Biotransformation des produits céréaliers. APRIA / INRA, ed. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 221 pages.

**Abramowitz M., Stegun I. A., Romer R. H., 1988.** Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. *In: American Association of Physics Teachers.*

**Abu J. O., Müller K., Duodu K. G., Minnaar A., 2006.** Gamma irradiation of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) flours and pastes: Effects on functional, thermal and molecular properties of isolated proteins. *Food Chemistry*, 95, 138–147

**Adebooye O.C., Singh V., 2007.** Effect of cooking on the profile of phenolics, tannins, phytate, amino acid, fatty acid and mineral nutrients of whole-grain and decorticated vegetable cowpea (*Vigna Unguiculata* L. Walp). *J. Food Qual.* 30, 1101–1120.

**Adebooye O.C., Singh V., 2008.** Physico-chemical properties of flours and starches of two cowpea varieties (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp). *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.* 9, 92–100.

**Adekola O. F., Oluleye F., 2007.** Influence of mutation induction on the chemical composition of cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *African Journal of Biotechnology*, 6, 2143–2146.

**Adrian J., 1964.** Etude de la valeur protidique de trois légumineuses domestiques africaines. *Ann. Nutrition et Alimentation*, vol. XVIII, no 2, 18 p.

**Adriana F.D.T, Crosby A.G., 2016** A review of the impact of preparation and cooking on the nutritional quality of vegetables and legumes. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 3, 2 -11.

**AFNOR - NF EN 14346, 2007.** Calcul de la teneur en matière sèche par détermination du résidu sec et de la teneur en eau. Éditions AFNOR. 18p. Disponible sur <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-14346/caracterisation-des-dechets-calcul-de-la-teneur-en-matiere-seche-par-determ/fa102952/29117> consulté le 17/07/2021 (annulée le 05/07/19 mais toujours non remplacée)

**AFNOR ,1970.** Directives générales pour le dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl. Produits Agricoles Alimentaires, NF V 03-050, 1970.

**AFNOR-NF V03-751.1985.** Sorgho, dosage des Tanins. Norme Française. ISSN 0335 – 3931.p5.

**Afoakwa E. O., Yenyi S. E., 2006.** Application of response surface methodology for studying the influence of soaking, blanching and sodium hexametaphosphate salt concentration on some biochemical and physical characteristics of cowpeas (*Vigna unguiculata*) during canning. *Journal of Food Engineering*, 77, 713–724

**Agazounon C., Coulibaly O., Houndekon V., 2004.** Analyse des techniques de transformation de niébé en ‘atta’ au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* N°45 - septembre 2004,8p.

**Agbodan K.M.L., Akpavi S., Agbodan K.A., Kanda M., Amegnaglo K.B., Adrou-Aledji A., Batawila K., Akpagana K., 2020.** Description agromorphologique et détermination du

potentiel antioxydant des variétés sous-utilisées et nouvellement introduites de maïs, manioc, niébé et piment dans la région Maritime-Est du Togo. *Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev.* 20(3), 15936 - 15953

**Ahmad S., Pathak D. K., 2000.** Nutritional changes in soybean during germination. *Journal of Food Science and Technology*, 37, 665-666.

**Akinyele I.O., 1989.** Effects of traditional methods of processing on the nutrient content and some antinutritional factors in cowpeas (*Vigna unguiculata*). *Food Chemistry*, 33, 291-299.

**Akissoe F.L., Hemery M.Y., Icard-Verniere C., Madode Y., Roger A., Hounhouigan D.J., Mouquet-Rivier C., 2019.** Fréquence et formes de consommation du niébé en milieu urbain au Bénin et freins potentiels à cette consommation. *Innovations Agronomiques*, 74, 176-182

**Akpagana K., 2006.** Savoirs locaux et gestion de la biodiversité : habitudes alimentaires et utilisation des plantes alimentaires mineures ou menacées de disparition au Togo. Rapport année III, projet CRDI n° 101517, 101 p

**Akpavi S., 2006.-** Des plantes alimentaires en disparition au Togo pour leurs traits intrinsèques. Rapport de stage, Institut Lasalle (Beauvais), 20 p.

**Akpavi S., Abalo C., Koffi T., Amouzou K., Batawila K., Wala K., Gbogbo K. A., Kanda M., Kossi-Titrikou K., Dantsey-Barry H., Talleux L., Butaré I., Bouchet P., Akpagana K., 2008.** Valeur nutrition/santé de quelques espèces de Légumineuses alimentaires mineures au Togo. *Acta Bot. Gallica*, 155 (3), 403-414.

**Akpavi S., Kanda M., Odah K., Akpakpah K. E., Kossi-Titrikou K., Boutaré I., Akpagana K., 2013.** Valeur socio-culturelle des plantes alimentaires : un facteur de préservation. *European Scientific Journal*. vol.9, No.32, 383-395.

**Alajaji S.A., El-Adawy T.A., 2006.** Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 806 – 812

**Alebeek F., 1996.** Foraging behaviour of the egg parasitoid *Uscana lariophaga* towards biological control of bruchid pests in stored cowpea in West Africa. Thesis Landbouwniversiteit Wageningen. The Wageningen Agricultural University, the Netherlands. 178p Disponible sur: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/34175> Consulté le 11/04/2021

**Alene A.D., Coulibaly O., Abdoulaye T., 2012.** The world cowpea and soybean economies: Facts, trends, and outlook. Lilongwe, Malawi: Institut International d'agriculture tropicale. 44p

**Almeida D. T., Greiner R., Furtunado D. M. N., Trigueiro I. N. S., Araujo M.P.N., 2008.** Content of some antinutritional factor in bean cultivars frequently consumed in Brazil. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 243-249.

**Amjad I., I.A. Khalil, H. Shah, 2003.** Nutritional yield and amino acid profile of rice protein as influenced by nitrogen fertilizer. *Sarhad Journal of Agriculture*, 19, pp. 127-134.

**Amouzou K., Adaké B., Batawila K., Wala K., Akpavi S., Kanda M., Odah K., Kossi-Titrikou K., Butaré I., Bouchet P., Akpagana K., 2006.-** Études biochimiques et évaluation des valeurs nutritionnelles de quelques alimentaires mineures du Togo. *Acta Bot. Gallica*, 153 (2), 147-152

- Andriamamonjy N., 2000.** Valeur nutritionnelle des graines sèches de 7 variétés de haricot et de 2 variétés d'Ambérique (Mémoire de DEA de Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et à la nutrition). Faculté des sciences : Université d'Antananarivo.p76.
- Andriamazaoro H., 1994.** Contribution à l'étude de la valeur nutritionnelle de 5 variétés de haricot commun (*Phaseolus vulgaris*). (Mémoire de DEA de Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et à la nutrition). Faculté des sciences : Université d'Antananarivo.p49.
- Anoun N., Echikh N., 1990.** Etude bio systématique d'une légumineuse saharienne : le Tadelaght. Mémoire DES, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Bab Ezzouard, Alger, 101p.
- Antova G.A., Stoilova T.D., Ivanova M. M., 2014.** Proximate and lipid composition of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) cultivated in Bulgaria. Journal of Food Composition and Analysis, 33: 146-152
- Asare A.T., Agbemafle R., Adukpo G.E., Diabor E., Adamtey K.A., 2013.** Assessment of functional properties and nutritional composition of some cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes in Ghana. Journal of Agricultural and Biological Science, 8(6):465-469
- Ashogbon A.O., Akintayo E.T., 2013.** Isolation and characterization of starches from two cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars. International Food Research Journal, 20, 3093-3100
- Ataro A., McCrindle R.I., Botha B.M., McCrindl C.M.E., Ndibewu P.P., 2008.** Quantification of trace elements in raw cow's milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Food Chemistry,111,243 - 248
- Attia R.S., EI-Tabey S.A.M., Aman M.A., Hamza M.A., 1994.** Effect of cooking and decortication on the physical properties, the chemical composition and the nutritive value of chickpea (*Cicer arietinum* L.) . Food Chemistry, 50: 125-131.
- Aubry M., Boucrot P., 1986.** Comparative study on the digestion of radiolabelled vicilin, legumin and lectin of *Pisum sativum* in the rat. Annals of Nutrition & Metabolism, 30(3), 175-182.
- Avanza M., Acevedo B., Chaves M., Añón M., 2013.** Nutritional and anti-nutritional components of four cowpea varieties under thermal treatments: Principal component analysis. Food Science and Technology, 51: 148-157.
- Avola G., Patanè C.N., Barbagall R., 2012.** Effect of water cooking on proximate composition of grain in three Sicilian chickpeas (*Cicer arietinum* L.). Food Science and Technology, 49, 217-220.
- Aykroyd W.R., Doughty J., 1964.** FAO, Rome. Legumes in human nutrition. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 1964. 138p Disponible sur : <https://www.worldcat.org/fr/title/legumes-in-human-nutrition-by-wr-aykroyd-and-joyce-doughty/oclc/1901916> consulté le 23/02/2021
- Aykroyd W. R., Doughty J., 1982.** Les graines de légumineuses dans l'alimentation humaines. 2<sup>ème</sup> Edition n°20, FAO, Rome.
- Ba F.S., Pasquet R.E., Gepts P., 2004.** Diversité génétique du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] révélée par les marqueurs RAPD. Genet Resource Crop Evol 51: 539–550
- Bachelor G.K., 2000.** An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press. 615p

- Badiane F.A., Diouf M., Diouf D., 2014.** Cowpea, *In* : M. Singh *et al.* (eds.), Broadening the Genetic Base of Grain Legumes. Springer India. 95-114p. DOI 10.1007/978-81-322-2023-7\_5
- Balint G.A., 2000.** Ultrastructural study of liver cell damage induced by Ricin. *Exp Toxic Pathol.* 52, 413 - 417
- Balla A., Baragé M., 2006.** Influence de la variété, du temps de stockage et du taux de natron sur la cuisson des graines de niébé. *TROPICULTURA*, 24, 1, 39-44
- Baoua I., Nouri M., Saidou A.K., Amadou L., 2013.** Quelques nouvelles variétés du niébé précoces productives et résistantes aux ravageurs. *Tropical Legumes II*. N°003-2013/INRAN. 2p. DOI: 10.13140/RG.2.1.1609.0083
- Barampama Z., Simard R.E., 1995.** Effects of soaking, cooking and fermentation on composition, in-vitro starch digestibility and nutritive value of common beans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 48, 349-365.
- Barnes A. H., 2000.** A handbook of elementary rheology. University of Wales, Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics Aberystwyth" England, 2000.
- Barnes H.A., 1997.** Thixotropy - A review. *J. Non-Newton. Fluid Mech.* 70, 1–33.
- Bartkiene E., Krungleviciute V., Juodeikiene G., Vidmantiene D., Maknickiene Z., 2015.** Solid state fermentation with lactic acid bacteria to improve the nutritional quality of lupin and soya bean. *J Sci Food Agric* 95, 1336-42.
- Batawila K., Akpavi S., Wala K., Akpagana K., 2005.-** Diversité et valorisation des légumes feuilles au Togo. Rapport de recherche, IPGRI, 37 p
- Bationo A., Christianson C.B., Baethgen W.E., 1990.** Plant Density and Nitrogen Fertilizer Effects on Pearl Millet Production in Niger. *Agronomy Journal*, 82 (2), 290-295
- Batra V.I.P., Vasishta R., Dhindsa K. S., 1986.** Effects of heat and germination on trypsin inhibitor activity in lentil and pigeon pea. *Journal of Food Science and Technology*, 23, 260-263.
- Baudoin J.P., Maréchal R., 1985.** Diversité génétique chez *Vigna*. Dans : Singh SR, Rachie KO (eds) Recherche, production et utilisation du niébé. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, NY, p. 3–9
- Bayram M., Kaya A., Oner M.D., 2004.** Changes in properties of soaking water during production of soy-Bulgur. *Journal of Food Engineering*, 61, 221-230.
- Bazzano L.H.J., Ogden L.G., Loria C., Vupputuri S., Myers L., Whelton, P.K., 2001.** Legume consumption and risk of coronary heart disease in US men and women: NHANES L Epidemiologic Follow-up Study. *Archives of Internal Medicine*, 161, 2573-2578.
- Behrman J., 1996.** The impact of health and nutrition on education. *World Bank Research Observer*, 11(1), 23-39.
- Belane A.K., Dakora F.D., 2011.** Levels of nutritionally-important trace elements and macronutrients in edible leaves and grain of 27 nodulated cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes grown in the Upper West Region of Ghana. *Food Chemistry*, 125, 99 - 105
- Belitz H.D., Weder J.K.P., 1990.** Protein inhibitors of hydrolases in plants foodstuffs. *Food Reviews International*, 6, 151-211

- Berhaut J., 1976.** Flore du Sénégal, Tome 5 : Légumineuses Papilionacées. Ed. Claire, Afrique, Dakar, livre Africain, 658 p.
- Besançon P., 1978.** La valeur nutritionnelle des légumes secs et des protéines de légumineuses. Revue Française de Diététique, 84, 5-17.
- Besançon P., 1994.** Innocuité et disponibilité des nutriments dans les aliments de complément. In Trèche S, De Benoist B, Benbouzid D, Delpeuch F. L'alimentation de complément du jeune enfant. Orstom éditions, 105-121.
- Besançon P., 1995.** Innocuité et disponibilité des nutriments dans les aliments de complément. In Trèche S, De Benoist B, Benbouzid D, Delpeuch F. L'alimentation de complément du jeune enfant. Orstom éditions, 105-121.
- Bhatty N., Gilani A.H., Nagra S.A., 2000.** Effect of cooking and supplementation on nutritional value of gram (*Cicer arietinum*). Nutrition Research, 20, 297-307
- Bilabina I., 1991.** Peut-on satisfaire les besoins en calcium, magnésium, phosphore, sans apports de produits laitiers ? Le cas du Togo. Cahiers d'Études et de Recherches Francophones (Santé), 1 (3), 221-227
- Biliaderis C.G., Maurice, T.J., Vose, J.R., 1980.** Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. J. Food Sci. 45, 1669–1674.
- Blanck H.M., Yaroch A.L., Atienza A.A., Yi S.L., Zhang J., Mâsse L.C., 2009.** Factors Influencing Lunchtime Food Choices Among Working Americans. Health Education & Behavior, 36(2), 289 - 301
- Blandino A., Al-Aseeri M.E., Pandiella S.S., Cantero D., Webb C., 2003.** Cereal-based fermented foods and beverages. Food Research International, 36, 527-543.
- Boizot N., Charpentier J-P., 2006.** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le Cahier des Techniques de l'Inra : Numéro spécial 2006, 79-82.
- Borges A., Peleg M., 1997.** Effect of water activity on the mechanical properties of selected legumes and nuts. J. Sci. Food Agric. 75, 463–471.
- Borget M., 1989.** Les légumineuses vivrières tropicales. Coll. « Le technicien d'Agriculture Tropicale » n°9. Ed. Maisonneuve et Larose.A.C.C.T. et C.T.A.162 p
- Boubkeur D., 2007.** Caractérisation agromorphologique de quelques populations locales de *Vigna unguiculata* L. Walp dans la région de Tidikeit. Mémoire d'Ingénieur, INA, El Harrach, 75p.
- Bouhnik Y., Raskine L., Simoneau G., Vicaut E., Neut C., Flourie B., Brouns F., Francis R., Bornet F.R., 2004.** The capacity of nondigestible carbohydrates to simulate fecal bifidobacteria in healthy humans: A double-blind, randomized, placebo-controlled, parallel-group, dose-response relation study. American Journal of Clinical Nutrition, 80, 1658-1664.
- Boye J., Wijesinha-Bettoni R., Burlingame B., 2012.** Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. The British Journal of Nutrition, 108(S2), S183-S211
- Brady P.G., Vannier A. M., Banwell J.G., 1978.** Identification of the dietary lectin, wheat germ agglutinin, in human intestinal contents. Gastroenterology, 75(2), 236 -239.

- Bressani R., 1993.** Brain quality of beans. *Food Review International*, 9 (2), 237-297
- Bressani R., 2000.** Factors influencing value in food grain legumes-reviews. Centro de cienciae tecnologia de alimentos. Universidas des Valle, Guatemala.  
<http://cidiccio.hn/newcidiccoenglish/>.
- Briant J., Denis J., Parc G., 1985.** « Propriétés rhéologiques des lubrifiants », 12p, éd. Technip, 330 p.
- Brunel J.F., Hiepkco P., Scholz H., 1984.** Flore analytique du Togo : Phanérogames. *Angleterrera*, 4, 3-751
- Calet C., 1992.** Les Légumineuses sèches : Apport protidique. *Cah.Nut. Diét*, 27(2), 99- 108.
- Campos-Vega R., Loarca-Pina G., Oomah B.D., 2010.** Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Research International*, 43, 461-482.
- Carlsson G.N., Karlsson H., Sandberg A.S., 1992.** Determination of oligosaccharides in foods, diets, and intestinal contents by high temperature gas chromatography and gas chromatography/mass spectrometry. *J Agric Food Chem.* 40, 2404–12
- Carnovale E., Marletta L., Marconi E., Brosio E., 1989.** Nutritional and Hydration Properties in Cowpea. *In*. N. Q. Ng and L. M. Monti (Eds), *Cowpea Genetic Resources*. 200p.
- Chaabena A., 1991.** Effet du stress hydrique sur la production de trois populations de Tadelaght (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Mémoire d'ingénieur. ITIAS. Ouargla – Algérie, 23p.
- Chang K.C., Harrold R. L., 1988.** Changes in selected biochemical components in vitro protein digestibility and amino acids in two bean cultivars during germination. *Journal of Food Sciences*, 53, 783-787.
- Chauvet M., 2003.** La biodiversité ballottée entre intérêt vital et intérêts particuliers. *Agrobiosciences 99 Almanach*, 5 p
- Cheftel J. C., 1985.** Protéines alimentaires. Ed. Paris : technique et documentation Lavoisier. 310p
- Chen L. H., Wells C. E., Fordham J.R., 1975.** Germinated seeds for human nutrition. *Journal of Food Science*, 40, 1290-1294.
- Chi-Fai C., Peter C-K.C., Yum-Shing W., 1997.** Effects of cooking on content of amino acids and antinutrients in three indigenous Chinese legume seeds. *J Sci Food Agric*, 75, 447-452
- Cho H.M., Yoo B., 2015.** Rheological characteristics of cold thickened beverages containing xanthan gum-based food thickeners used for dysphagia diets. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 115, 106–111.
- Chuang G.C.C., Yeh A. I., 2006.** Creep deformation modeling of glutinous rice cakes (Mochi). *Cereal chemistry*, 83(2), 179-187.
- Chung K-T., Wong T.Y., Wei C-I., Huang Y-W., Lin Y., 1998.** Tannins and Human Health: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38 (6), 421 - 464
- Cichero J.A.Y., Lam P., Steele1 C.M., Hanson B., Chen J., Dantas R.O., Duivestein J., Kayashita J., Lecko C., Murray J., Pillay M., Riquelme L., Stanschus S., 2017.** Development of international terminology and definitions for texture-modified foods and



thickened fluids used in dysphagia management: the IDDSI framework. *Dysphagia*, 32, 293–314.

**Cissé N., Hall A.E., 2003.** La culture traditionnelle du niébé au Sénégal : Etude de Cas FAO. Disponible sur [http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/publicat/cowpea\\_cisse/cowpea\\_cisse\\_f.htm](http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/publicat/cowpea_cisse/cowpea_cisse_f.htm)

**Cobbinah F.A., Addo-Quaye A.A., Asante I.K., 2011.** Characterization, evaluation and selection of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) accessions with desirable traits from eight regions of Ghana. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 6(7), 21-32

**Coffigniez F., Briffaz A., Mestres C., Alter P., Noel D., Bohuon P., 2018.** Multi-response modeling of reaction-diffusion to explain alpha-galactoside behavior during the soaking-cooking process in cowpea. *Food Chemistry*, 242, 279–287.

**Coffigniez F., Briffaz A., Mestres C., Akissoe L., Bohuon P., El Maataoui M., 2019.** Impact of soaking process on the microstructure of cowpea seeds in relation to solid losses and water absorption. *Food Research International*, 119, 268–275.

**Combe E., Achi T., Pion R., 1991.** Utilisation digestive et métabolique comparées de la fève, de la lentille et du pois chiche chez le rat. *Reproduction , Nutrition, Development*, 31, 631-646.

**Conrrazé G., Grossiord J.L., 2000.** Initiation à la rhéologie. 3e édition revue et augmentée, Londres ; Paris ; New York : Tec. & doc.; DL 2000. 1, 300p. Disponible sur [https://ulyse.univ-lorraine.fr/discovery/fulldisplay?vid=33UDL\\_INST:UDL&search\\_scope=MyInst\\_and\\_CI&tab=Everything&docid=alma991003648239705596&lang=fr&context=L&adaptor=Local%20Search%20Engine&mode=advanced](https://ulyse.univ-lorraine.fr/discovery/fulldisplay?vid=33UDL_INST:UDL&search_scope=MyInst_and_CI&tab=Everything&docid=alma991003648239705596&lang=fr&context=L&adaptor=Local%20Search%20Engine&mode=advanced) consulté le 17/07/2019

**Cooke L., Wardle J., 2005.** Age and gender differences in children's food preferences. *British Journal of Nutrition*, 93, 741-746.

**Couarraze G., Grossiord J.L., 1983.** Initiation à la rhéologie. (Ed.) Paris [France] : Lavoisier, 1983. 219p

**Coussot P., 2005.** Rheometry of Pastes, Suspensions, and Granular Materials: Applications in Industry and Environment. (Ed.) John Wiley & Sons, 2005. 304p

**Coussot, P., 2014.** Yield stress fluid flows: a review of experimental data. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* 211, 31–49.

**Cristofaro E., Mottu F., Wuhrmann J.J., 1974.** Involvement of the raffinose family of oligosaccharides in flatulence. In “Sugars in Nutrition.” p. 313, Eds. H.L. Sipple and K.W. McNutt. Academic Press. London. U.K.

**Cruz J.F., Hounhouigan D.J., Havard M., Ferré T., 2019.** La transformation des grains. Collection Agricultures tropicales en Poche, Quæ, Presses agronomiques de Gembloux, CTA, Versailles, Gembloux, Wageningen. 182 p. +cahier quadri 16 p.

**Cuq J L., Leynaud- Rouand C., 1992.** Les graines de légumineuses. In Dupin H., Cuq J L., Malewiak M. I., Alimentation et nutrition humaine. Paris : ESF éditeur : 941-964

**Dabre A., Hien E., Some D., Drevon J. J., 2016.** Impacts des pratiques culturales sur la production du sorgho (*Sorghumbicolor* L.) et du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) et sur le bilan partiel de l’azote sous niébé au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10(5), 2215-2230

- Dabre A., Hien E., Some D., Drevon J.J., 2016.** Impacts des pratiques culturales sur la production du sorgho (*Sorghum bicolor* L.) et du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) et sur le bilan partiel de l'azote sous niébé au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10(5), 2215-2230
- Dagnon Y.D., Diop S., Bammite D., Glato K., Gbaguidi A.A., Dansi A., Tozo K., 2017.** Variabilité agromorphologique des cultivars locaux de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] au Togo. *Afrique SCIENCE*, 13(4), 164 - 177
- Dang J., Arcot J., Shrestha A., 2000.** Folate retention in selected processed legumes. *Food Chemistry*, 68, 295-298.
- De Gennes P.G., 1976.** Dynamics of entangled polymer solution. *Macromolecules*, 9, 594–598.
- DellaPenna D., 1999.** Nutritional genomics: manipulating plant micronutrients to improve human health. *Science*, 285(5426), 375-379
- Derbyshire E., Wright D. J., Boulter D., 1976.** Review: Legumin and vicilin, storage proteins of legume seeds. *Phytochemistry*, 15, 3 - 4.
- Deshpande S.S., 1992.** Food legumes in human nutrition: A personal perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32, 333 – 363
- Dewey K.G., 2000.** Approaches for improving complementary feeding of infants and young children. Geneva: World Health Organisation.
- Dewey K.G., Brown K.H., 2003.** Update on technical issues concerning complementary feeding of young children in developing countries and implication for intervention programs. *Food Nutr Bull.*, 24 (1), 5-28
- Dewey K.G., Brown K.H., 2003.** Update on technical issues concerning complementary feeding of young children in developing countries and implications for intervention programs. *Food and Nutrition Bulletin*, 24(1), 5-28.
- Diouf D., 2011.** Recent advances in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] “omics” research for genetic improvement. *African Journal of Biotechnology*, 10(15), 2803-2810
- Doblado R., Frais J., Vital-Valverde C., 2007.** Changes in vitamin C content and antioxidant capacity of raw and germinated cowpea (*Vigna sinensis* var. carilla) seeds induced by high pressure treatment. *Food Chemistry*, 101, 918-923.
- Dos A.F., Vazquez-Anon M., Dierenfeld E.S., Parsons C.M., Chimonyo M., 2016.** Chemical composition, amino acid digestibility, and true metabolizable energy of cowpeas as affected by roasting and extrusion processing treatments using the cecectomized rooster assay. *The Journal of Applied Poultry Research*, 25(1), 85-94
- Dovlo F.E., Williams C.E., Zoaka L., 1975.** Cowpeas: home preparation and use in West Africa. Ottawa, Centre de recherches pour le développement international, IDRC-055.
- Drewnowski A., 2009.** Obesity, diets, and social inequalities. *Nutrition Reviews*, 67, S36- S39.
- DSID, 2021.** Direction des statistiques agricoles, de l'informatique et de la documentation. Disponible sur <https://emedia-tg.com/togo-plus-de-380-000-tonnes-de-niebe-produites> consulté le 09/12/ 2021.

- Du S.K., Jiang H., Ai Y., Jane J.L., 2014.** Physicochemical properties and digestibility of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) starches. *Carbohydrate Polymers*, 108, 200-205
- Duhan A., Chauhan B., Puniad., 1989.** Phytic acid content of chickpea and black gram. *Jrnl of Sci of Food and Agri*, 49 (7), 445-449
- Duke J.A., 1981.** Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press. New York. 345p
- Duranti M., 2006.** Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, 77: 67–82
- Edgar W.M., 1992.** Saliva: its secretion, composition and functions. *Br. Dent. J.*, 172, 8, p.305-312.
- Edijala, J.K., 1980.** Effects of processing on the thiamin, riboflavin and protein contents of cowpeas (*Vigna unguiculata* L. Walp). I. Soaking, cooking and wet milling processes. *J. Food Technol.* 15, 435–443.
- Egan H., Kirk R.S., Sawyer P.R., 1981.** Chemical Analyses of Food (8th edition). Churchill. Livingstone: London-UK, 591p.
- Egounlety M., Aworh O.C., 2003.** Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and ground bean (*Macrotyloma geocarpa* Harms). *Journal of Food Engineering*, 56, 249–254.
- El-Adawy T.A., Rahma E.H., El-Bedawy A.E., 2003.** Nutritional potential and functional properties of germinated mung bean, pea and lentil seeds. *Plant Foods for human Nutrition*, 58, 1-13
- Elhardallou S.B., Ikhlas I.K., Adil A.G., Shams H.A., 2015.** Amino acid composition of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) flour and its protein isolates. *Food and Nutrition Sciences*, 6(9), 790-797
- Emechebe A., Voh J., Olufajo O., Dike M., 1997.** Ecologically Sustainable Cowpea Pest Management Project: Report on Activities. Institute for Agriculture Research, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.
- Fang F., Luo X., BeMiller J.N., Schaffter S., Hayes A.M.R., Woodbury T.J., Hamaker B.R., Campanella O.H., 2020.** Neutral hydrocolloids promote shear-induced elasticity and gel strength of gelatinized waxy potato starch. *Food Hydrocolloids*, 107, 105923.
- FAO, 2002.** Agriculture, alimentation et nutrition en Afrique : Un ouvrage de référence à l'usage des professeurs d'agriculture. FAO, 442 p
- FAO, 1981.** Improvement of nutritional quality of food crops. FAO plant production and protection paper. Rome: FAO.
- FAO, 1990.** Alimentation et nutrition. Utilisation des aliments tropicaux : Légumineuses tropicales ; Rome ; 1990
- FAO, 2021.** Crops and livestock products. Disponible sur <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> Consulté le 8/04/2022.
- FAO/ WHO, 1991.** Food and Agriculture Organization; World Health Organization. Report of a joint FAO/ WHO expert consultation. Protein Quality Evaluation. Pomegranate; 1991. p. 66 (FAO Food and Nutrition Paper, 51)

- Ferreira R. B., Melo T. S., Teixeira A. N., 1995.** Catabolism of the seed storage proteins from *Lupinus albus*: fate of globulins during germination and seeding growth. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22, 373-381
- Fery R.L., 1985.** La génétique du niébé : une revue de la littérature mondiale. *In* Singh SR, Rachie KO (eds) Recherche, production et utilisation du niébé. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, NY, p. 25–62.
- Finney E.E., Hall C.W., Thompson N.R., 1964.** Influence of variety and time upon the resistance of potatoes to mechanical damage. *Am. Potato J.* 41, 170–186.
- Fofana I.B., 1964.** Contribution à la recherche d'aliments riches en protéines à partir de quelques légumineuses tropicales. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux, 77p
- Fordham J.R., Wells C.E., Chen L. H., 1975.** Sprouting of seeds and nutrient composition of seeds and sprouts. *Journal of Food Science*, 40, 552-556
- Foster-Powell K., Holt S.H., Brand-Miller J.C., 2002.** International table of glycemic index and glycemic load values. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76, 55-56
- Freitas R.L., Teixeira A.R., Ferreira R.B., 2004.** Characterization of the Proteins from *Vigna unguiculata* Seeds. *J. Agric. Food Chem.*, 52 (6), 1682–1687
- Freitas S. M., Mellob L.V., Silvab M.C.M., Vriende G., Neshichb G., Venturaa M.M., 1997.** Analysis of the lack-eyed pea trypsin and chymotrypsin inhibitor-k-chymotrypsin complex. *FEBS Letters*, 409, 121-128
- Frias J., Diaz-Pollan C., Hedley C., Vidal-Valverde C., 1995.** Evolution of trypsin inhibitor activity during germination of lentils. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 43, 2231-2234.
- Frota K.D.M.G., Lopes L.A.R., Silva I.C.V., Arêas J.A.G., 2017.** Nutritional quality of the protein of *Vigna unguiculata* L. Walp and its protein isolate. *Revista Ciência Agronômica*. 48(5SPE), 792-798
- Gallardo F., Araya H., Pak N., Tagle M.A., 1974.** Toxic factors in Chilean legumes, II. Trypsin inhibitor activity. (Résumé en anglais). *Archivos Latino Americanos de Nutricion (Caracas)*, 24, 101.
- Garin N., De Pourcq J.T., Martin-Venegas R., Cardona D., Gich I., Mangues M.A., 2014.** Viscosity differences between thickened beverages suitable for elderly patients with dysphagia. *Dysphagia*, 29, 483–488.
- Garine I., 1996.** Magie et alimentation au Cameroun. *In* : Fischler, Claude (sous la direction de), Pensée magique et alimentation aujourd'hui. Les Cahiers de l'OCHA N°5, Paris, 1996, 132 p. [https://www.lemangeur-ocha.com/wp-content/uploads/2012/07/6\\_Igor\\_de\\_Garine.pdf](https://www.lemangeur-ocha.com/wp-content/uploads/2012/07/6_Igor_de_Garine.pdf) consulté le 11/05/2022
- Gbaguidi A.A., Assogba P., Dansi M., Yedomonhan H., Dansi A., 2015.** Caractérisation agromorphologique des variétés de niébé cultivées au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(2), 1050-1066.
- Gebhard S., 2004.** A Practical Approach to Rheology and Rheometry. *In* 2nd Edition Karlsruhe, Federal Republic of Germany. 268p. Disponible sur <https://www.ifi.es/wp-content/uploads/2021/06/Rheology-Book.pdf> consulté le 22/09/2019

- Ghalmi N., Ounane S.M., Benmohamed A., Benamara A., 2004.** Le vigna en Algérie une culture Ancestrale. In 2<sup>ème</sup> conférence méditerranéenne de Rhizobiologie, 23-25 mai, Oran, 2p
- Ghalmi N., 2011.** Etude de la diversité génétique de quelques écotypes locaux de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Cultivés en Algérie. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) El Harrach – Alger (Algérie) soutenue le 25/05/2011 .177p
- Ghalmi N., Malice M., Jacquemin J-M., Ounane S-M., Mekliche L., Baudoin J.P., 2009.** Morphological and molecular diversity within Algerian cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) landraces. Genetic Resources and Crop Evolution, 57, 371 - 386.
- Ghavidel R.A., Prakash J., 2007.** The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. LWT, 40, 1292 - 1299
- Giami S. Y., 2005.** Compositional and nutritional properties of selected newly developed lines of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). Journal of Food Composition and Analysis, 18 (7), 665-673.
- Gillooly M., Bothwell T.H., Charlton R.W., Torrance J.D., Bezwoda W.R., Mac Phail A.P., Derman D.P., Novelli L., Morral D., Mayet F., 1984.** Factors affecting the absorption of iron from cereals. British Journal of Nutrition, 51, 37-46.
- Giovannucci E., Willet W.C., 1994.** Dietary factors and risk of colon cancer. Annals of Medecine, 26, 443-452.
- Glade M.J., 1999.** Food, nutrition, and the prevention of cancer: a global perspective. Nutrition, 15(6), 523-526.
- Glanz K., Basil M., Maibach E., Goldberg J., Snyder D.A.N., 1998.** Why Americans Eat What They Do: Taste, Nutrition, Cost, Convenience, and Weight Control Concerns as Influences on Food Consumption. Journal of the American Dietetic Association, 98(10), 1118-1126.
- Gomez C., 2004.** Cowpea: post-harvest operations. In AGST/FAO (edited by D. Mejia). Pp. 71. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Gonçalves A., Goufo P., Barros A., Domínguez-Perles R., Trindade H., Eduardo A.S.R., Ferreira L., Rodrigues M., 2016.** Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: nutritional advantages and constraints. Journal of the Science of Food and Agriculture, 96(9), 2941-2951
- Granito M., Frias J., Doblado R., Guerra M., Champ M., Vidal-Valverde C., 2002.** Nutritional improvement of beans (*Phaseolus vulgaris*) by natural fermentation. European Food Research and Technology, 214, 226-231
- Grant G., Alonso R., Edwards J.E., Murray S., 2000.** Dietary soya beans and kidney beans stimulate secretion of cholecystokinin and pancreatic digestive enzymes in 400-day-old Hooded-Lister rats but only soya beans induce growth of the pancreas. Pancreas, 20, 305-312.
- Guenguen J., Lemarie J., 1996.** Composition, structure, et propriétés physicochimiques de Légumineuses et d'oléagineux. In, Godon B. Les protéines végétales. Lavoisier Tec et Doc. Paris: 80-110. 666 p

- Gumedzoe M.Y., Sunu D.Y., Thottappilly G., Asselin A., 1990.** Importance du virus de la marbrure de niébé et du virus de la mosaïque jaune du niébé au Togo. PHYTOPROTECTION, 71, 85-91.
- Guyon E., Hulin J.P., Petit L., De Gennes P.G., 2001.** Hydrodynamique physique. EDP sciences Les Ulix, Paris : CNRS Éditions, pp 674.
- Hall A.E., Ismail A.M., Ehlers J.D., Marfo K.O., Cisse N., Thiaw S., Close T.J., 2002.** Breeding cowpeas for tolerance to temperature extremes and adaptation to drought. *In* Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production . Eds. C.A. Fatokun, S.A. Tarawali, B.B. Singh, P.M. Kormawa and M. Tamo. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, pp 14–21
- Hama-Ba F., Siedogo M., Ouedraogo M., Dao A., Dicko H.M., Diawara B., 2017.** Modalités de consommation et valeur nutritionnelle des légumineuses alimentaires au Burkina Faso. African journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 17(4), 12871 – 12888.
- Hamann D.D., Zhang J., Daubert C.R., Foegeding E.A., Diehl K.C., 2006.** Analysis of compression, tension, and, torsion for testing food gel fracture properties. J. Texture Stud. 37, 620–639.
- Hammerle J.R., McClure W.F., 1971.** The determination of Poisson's ratio by compression tests of cylindrical specimens. J. Texture Stud. 2, 31–49.
- Hardisson A., Rubio C., Baez A., Martin M., Alvarez R., Diaz E., 2001.** Mineral composition of the banana (*Musa acuminata*) from the island of Tenerife. Food Chemistry,73, 153-161
- Haro H., Sanon K.B., Krasova-Wade T., 2015.** Réponse à la double inoculation mycorhizienne et rhizobienne du niébé (variété, K VX396- 4-5-2D) cultivé au Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci. 9(3), 1485- 1493.
- Hathcock J. N., 1991.** Residue trypsin inhibitor: data needs for risk assessment. *In* nutritional and toxicological Consequences of Food Processing, 273-279.
- Herken E.N., Ibanoglu S., Oner M.D., Bilgicli N., Guzel S., 2007.** Effect of storage on the phytic acid content, total antioxidant capacity and organoleptic properties of macaroni enriched with cowpea flour. Journal of Food Engineering, 78, 366 – 372.
- Hoover R., Hughes T., Chung H.J. Liu Q., 2010.** Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. Food Research international, 43, 399-413
- Huang J., Schols H.A., van Soest J.J.G., Jin Z., Sulmann E., Voragen A.G.J., 2007.** Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea, and yellow pea starches. Food Chemistry, 101, 1338-1345
- Hurrell R., Egli I., 2010.** Iron bioavailability and dietary reference values. Am J Cli Nutr, 91, 1461-1467.
- Hussain M.A., Basahy A.Y. , 1998.** Nutrient-composition and amino acid pattern of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) grown in the Gizan area of Saudi Arabia. International Journal of Food Science and Nutrition, 49,117-124
- Ibrahim S.S., Habiba R.A., Shatta A.A., Embaby H.E., 2002.** Effect of soaking, germination, cooking and fermentation on antinutritional factors in cowpea. Nahrung / Food ,46, 92-95

- ISO 2171 (International Organization for Standardization), 1993.** Céréales et produits de mouture des céréales - Dosage des cendres totales. 9 p. Disponible sur <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/37264/559af67bcb984fe7bd6cf46ff33002b1/ISO-2171-2007.pdf> consulté le 17/07/2021
- Iqbal A., Khalil I.A., Ateeq N., Khan M.S., 2006.** Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry*, 97, 331-334
- Ishihara S., Nakao S., Nakauma M., Funami T., Hori K., Ono T., Kohyama K., Nishinari K., 2013.** Compression test of food gels on artificial tongue and its comparison with human test. *J. Texture Stud.* 44, 104–114.
- ISO (International Standardization Organization), 1998.** Détermination de la teneur en matière grasse selon la méthode d'extraction par Soxhlet, ISO 659.
- Jachmanian I., Perfanova-Nemska M., Grompone M.A., Mukherjee K.D., 1995.** Germinating rapeseed as biocatalyst: hydrolysis of exogenous and endogenous triacylglycerols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 2992-2996
- Kabagambe E. K., Baylin A., Ruiz-Narvarez E., Siles X., Campos H., 2005.** Decreased consumption of dried mature beans is positively associated with urbanization and nonfatal acute myocardial infarction. *Journal of Nutrition*, 135 (7), 1770-1175
- Kadam S.S., Salunkhe D. K., 1989.** Minerals and vitamins. *In Handbook of world food legumes*. Ed: Salunkhe, p. 117-121
- Kakade, M. L., Evans, R. J., 1966.** Effect of soaking and germinating on the nutritive value of navy beans. *Journal of Food Science*, 31, 1966, 781.
- Kameswara R.N., 2004.** Plant genetic resources: Advancing conservation and use through biotechnology. *African Journal of Biotechnology*, 3 (2), 136-145
- Kaptso K.G., Njintang Y.N., Komnek A.E., Hounhouigan J., Scher J., Mbofung C.M.F., 2008.** Physical properties and rehydration kinetics of two varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*) and bambara groundnuts (*Voandzeia subterranea*) seeds. *Journal of Food Engineering*, 86, 91 - 99
- Kasprowicz-Potocka M., Borowczyk P., Zaworska A., Nowak W., Frankiewicz A., Gulewicz P., 2016.** The Effect of Dry Yeast Fermentation on Chemical Composition and Protein Characteristics of Blue Lupin Seeds. *Food Technol Biotechnol*, 54, 360-366.
- Kasprowicz-Potocka M., Zaworska A., Frankiewicz A., Nowak W., Gulewicz P., Zduńczyk Z., Juśkiewicz J., 2015.** The Nutritional Value and Physiological Properties of Diets with Raw and *Candida utilis*-Fermented Lupin Seeds in Rats. *Food Technol Biotechnol* 53, 286-297.
- Kennedy G., Nantel G., Shetty P., 2003.-** The scourge of “hidden hunger”: global dimensions of micronutrient deficiencies. *Food Nutr. Agric.*, 32, 8-14
- Kensal R., Kumar M., Kuhar K., Gupta R.N., Subrahmanyam B., Koundal K.R., Gupta V.K., 2008.** Purification and characterization of trypsin inhibitor from *Cicer arietinum* L and its efficacy against *Helicoverpa armigera*. *Braz. J. Plant Physiol.*, 20(4), 313-322.
- Khan A.A., 1980.** Hormonal regulation of primary and secondary seed dormancy. *ISRAEL Journal of Botany*, 29, 207-224

- Khan M.R.I., Gatehouse J.A., Boulter D., 1980.** The seed proteins of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Journal of Experimental Botany*, 31, 1599–1611.
- Khatab R.Y., Arntfield S.D., 2009.** Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments.2. Antinutritional factors. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 1113 – 1118.
- Khatab, R.Y., Arntfield, S.D., Nyachoti, C.M., 2009.** Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: protein quality evaluation. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 1107–1112.
- Khokhar S., Chauhan B.M., 1986.** Antinutritional factors in moth bean (*Vigna aconitifolia*): varietal difference and effect of methods of domestic processing and cooking *Journal of Food Science*, 51(3), 591-594
- Kiani D.K., M., Maghsoudi H., Minaei S., 2009.** Determination of Poisson's ratio and Young's modulus of red bean grains. *J. Food Process. Eng.* 34, 1573–1583.
- Kittler P.G., Sucher K.P., 2007.** Food and Culture, *In* Kittler Pamela Goyan, Sucher Kathryn P. (Eds), Food and Culture, Belmont – USA: 5<sup>th</sup> Ed. Thomson/ Wadsworth, 573p
- Kon S., 1979.** Effect of soaking temperature on cooking and nutritional quality of beans. *Journal of Food Science*, 44,1329 – 1340
- Kondi Y., Mawuli A., Agnassim B., Yentchabre P., Koffi T., 2018.** Evaluation De Quatre Cultivars De Niebe (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.) Pour Leur Resistance Au Deficit Hydrique Et A L'adventice Parasite, *Striga Gesnerioides* (Willd.) Vatke Au Togo. *European Scientific Journal*,14(6), 215 - 228.
- Kong, C.S., Ogawa, H., Iso, N., 1999.** Compression properties of fish-meat gel as affected by gelatinization of added starch. *J. Food Sci.* 64, 283–286.
- Kouemene T.V.D.P., Bitjoka L., Ntamack G.E., Tonye E., 2013.** Evaluation of temperature and mechanical properties of beans during cooking process. *Int. J. Sci. Technol.* 3, 118–124.
- Kpatinvoh B., Adjou E.S., Dahouenon-Ahoussi E., Konfo T.R.C., Atrevy B.C., Sohounhloue D., 2016.** Problématique de la conservation du niébé (*Vigna unguiculata* (L), Walp) en Afrique de l'Ouest : étude d'impact et approche de solution. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 31(1) 4831-4842
- Kristjanson P., Tarawali S.A., Okike I., Singh B.B., Thornton P.K., Manyong V.M., Kruska R.I., Hoogenboom G., 2001.** Genetically improved dual purpose cowpea: assessment of adoption and impact in the dry savannah region of West Africa. ILRI Impact Assessment series 9. ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya. 68pp
- Kumar V., Sinha A.K., Makkar H.P.S., Becker K., 2010.** Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition. *Food Chemistry*, 120(4), 945-959.
- Kurien P.P., Desikachar H.S.R., Parpia H.A.B., 1972.** Processing and utilisation of grain legumes in India. *In* Tropical Agriculture Research Series N° 6, Proceedings of a Symposium on Food legumes. Tokyo, Japon, 225p.
- Kurien P.P., Parpia H.A.B., 1968.** Pulse milling in India 1-processing and milling of Fur Arahah (*Cajanas cajan linn.*). *Journal of Food Science and Technology (Mysore)*, 5 (4). 203-207.



- Laguna L., Manickam I., Arancibia C., Tarrega A., 2020.** Viscosity decay of hydrocolloids under oral conditions. *Food Research International*, 136, 109300.
- Lajolo F. M., Genevese M.I., 2002.** Nutritional significance of lectins and enzyme inhibitors from legumes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6592-6598
- Landrum B.J., Russel W.B., Zia R.N., 2016.** Delayed yield in colloidal gels: creep, flow, and re-entrant solid regimes. *J. Rheol.* 60, 783–807.
- Lara-Flores M., Granados-Puerto S.G., Olivera-Castillo L., Pereira-Pacheco F. E., Rio-Rodriguez R.E., Olvera-Novoa M.A., 2007.** Nutritional evaluation of treated X'pelon seed (*Vigna unguiculate* L. walp.) in the feeding of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animal Feed Science and Technology*, 138, 178 – 188.
- Latta M., Eskin M., 1980.** A Simple and Rapid Colorimetric Method for Phytate Determination. *J. Agric. Food Chem.*, 28, 1313-1315
- Laurena A. C., Rodriguez F.M., Sabino N.G., Zamora A.F., Mendoza E.M.T., 1991.** Amino acid composition, relative value and in vitro protein digestibility of several Philippine indigenous legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 41, 59-68
- Lestienne I., Icard-Vernière C., Claire Mouquet C., Picq C., Treche S., 2005.** Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chemistry*, 89, 421- 425.
- Lestienne I., Icard-Vernière C., Picq C., Serge T., 2003.** Effets du trempage de graines et de farines de céréales et de légumineuses sur leur teneur en phytates et leurs rapports molaires Phy/Fe et Phy/Zn. *In 2<sup>ème</sup> Atelier international : Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles*, 479 – 487.
- Leterme P., Carmenza Muñoz L., 2002.** Factors influencing pulse consumption in Latin America. *British Journal of Nutrition*, 88(3), S251–S254.
- Liener I. E., 1974.** Phytohemagglutinins: Third nutritional significance. *Journal of Agriculture and food chemistry*, 22, 17-22
- Liener I.E., 1962.** Toxic factors in edible legumes and their elimination. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 11(4), 281–298
- LSRO (Life Sciences Research Office), 1995.** Household-Based Estimates of Food Consumption and Expenditures. *In Federation of American Societies for Experimental Biology, Life Sciences Research Office. Prepared for the Interagency Board for Nutrition Monitoring and Related Research. 1995. Third Report on Nutrition Monitoring in the United States: Volume 1. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 365 pp.*
- Liu D., Li Z., Fan Z., Zhang X., Zhong G., 2019.** Effect of soybean soluble polysaccharide on the pasting, gels, and rheological properties of kudzu and lotus starches. *Food Hydrocolloids*, 89,443–452.
- Lopez A., 1987.** Canning of vegetables. *In Canning Trade Inc Book III (12<sup>th</sup> ed.), A complete course in canning. Baltimore, Maryland, USA: 11 – 143.*
- Luo Y., Xie W., Xie C., Li Y., Gu Z., 2009.** Impact of soaking and phytase treatments on phytic acid, calcium, iron and zinc in faba bean fractions. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, (12), 2590-2597.

- Lush M., Evans L.T., 1981.** The domestication and improvement of cowpeas (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Euphytica*, 30, 579-587
- Lutter C.K., 2003.** Macrolevel approaches to improve the availability of complementary foods. *Food and Nutrition Bulletin*, 24(1), 83-103
- Lutter C.K., Dewey K.G., 2003.** Proposed Nutrient Composition for Fortified Complementary Foods. *J Nutr.*, 133, 3011-3020
- Lyayi E.A., Kluth H., Rodehutsord M., 2008.** Effect of heat treatment on antinutrients and precaecal crude protein digestibility in broilers of four tropical crop seeds. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 610–616
- Lyman B., 1989.** The Use of Food as Psychotherapy, pp154 – 155. *In* Lyman B. (Ed.), *A Psychology of Food More Than a Matter of Taste*. Van Nostrand Reinhold Company Inc. 190p
- Ma S., Zhu P., Wang M., 2019.** Effects of konjac glucomannan on pasting and rheological properties of corn starch. *Food Hydrocolloids*, 89, 234–240.
- Macosko W.C., Mewis J., 1994.** Suspension Rheology, Chapter 10. *In* *Rheology Principles, Measurements and Applications* (ed) Macosko C. VCH 425–474
- Madode Y.E., Houssou P.A., Linnemann A.R., Hounhouigan D.J., Nout M.J.R., Van Boekel M.A.J.S., 2011.** Preparation, consumption, and nutritional composition of West African cowpea dishes. *Ecology of Food and Nutrition*, 50, 115–136.
- Mancini M., Moresi M., Rancini R., 1999.** Uniaxial compression and stress relaxation tests on alginate gels. *J. Texture Stud.* 30, 639–657.
- Marconi E., Lombardi-Boccia G., Carnovale E., Ng N. Q., 1990.** Nutritional evaluation of wild and cultivated species of cowpea. *In* *Cowpea Genetic Resources*, Ed by Ng NQ and Monti LM, Amarin Printing Group, Thailand, pp 101 - 110
- Marconi E., Ng N. Q., Carnovale E., 1993.** Protease inhibitors and lectins in cowpea. *Food Chemistry*, 47, 37-40
- Maréchal R., Mascherpa J. M., Stainer F., 1978.** Etude taxonomique d'un groupe complexe d'espèce des genres *Phaseolus* et *Vigna* (*Papilionaceae*) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. *Boissiera*, 28, 1-273
- Marlett J.A., McBurney M.I., Slavin J.L., 2002.** Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. *Journal of the American Dietetic Association* 102 (7), 993-1000
- Marquez M.C., Alonso R., 1999.** Inactivation of Trypsin inhibitor in chickpea. *Journal of food composition and analysis*, 12, 211-217.
- Martin-Cabrejas M., Diaz M.F., Aguilera Y., Benitez V., Molla E., Esteban R.M., 2008.** Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fiber fractions in non-conventional legume. *Food Chemistry* 107, 1045-1052.
- Martínez-Villaluenga C., Frías J., Vidal-Valverde C., 2008.** Alpha-Galactosides: antinutritional factor or functional ingredients? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 301-316

- Mbithi-Mwikya S., Van Camp J., Rodriguez R., Huyghebaert A., 2001.** Effects of sprouting on nutrient and antinutrient composition of kidney beans. *European Food Research and Technology*, 212, 188-191
- Mbithi-Mwikya S., Van Camp J., Yiru Y., Huyghebaert A., 2000.** Nutrient and antinutrient changes in finger millet (*Eleusine coracana*) during sprouting. *Food Science and Technology*, 33, 9-14
- McWatters K.H., 1990.** Functional characteristics of cowpea flours in foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 67, 272–275.
- McWatters K.H., Enwere N.J., Fletcher S.M., 1992.** Consumer response to akara (fried cowpea paste) served plain or with various sauces. *Food Technology*, 46, 111- 114
- Mebdoua S., 2011.** Caractérisation physico-chimique de quelques populations de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.), Influence des traitements technologiques. Mémoire de Magister. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Algérie.p83.
- Mennella J.A., Beauchamp G.K., 1996.** The human infants' response to vanilla flavors in mother's milk and formula. *Infant Behavior and Development*, 19(1), 13-19.
- Michael G.J., Varriano-Marston E., 1981.** Hard-to-cook phenomenon in beans: Effects of accelerated storage on water absorption and cooking time. *Journal of Food Science*, 46, 799-803.
- Michels K.B., Giovannucci E., Chan A.T., Singhania R., Fuchs C.S., Willett W.C., 2006.** Fruit and vegetable consumption and colorectal adenomas in the nurses' Health Study. *Cancer Research*, 66(7), 3942-3953
- Michodjehoun-Mestres L., Souquet J-M., Fulcrand H., Bouchut C., Reynes M., Brillouet J-M., 2009.** Monomeric phenols of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). *Food Chemistry*, 112, 851–857
- Mittal J.P., Mohsenin N.N., Sharma M.G., 1987.** Rheological characterization of apple cortex. *J. Texture Stud.* 18, 65–93.
- Mohsenin N.N., 1977.** Characterization and failure in solid foods with particular reference to fruits and vegetables. *J. Texture Stud.* 8, 169–193.
- Mouquet-Rivier C., Amiot M.J., 2019.** Les légumineuses dans nos assiettes : que nous dit la science ? Nutriments et composés bioactifs. *Innovations Agronomiques*, 74, 203-213. doi:10.15454/uyixyr
- MPDAT/MST/ICFI (Ministère de la Planification, du Développement et de l'Aménagement du Territoire/ Ministère de la Santé du Togo / Inner City Fund International), 2015.** Enquête Démographique et de Santé au Togo 2013-2014 : Rapport de synthèse. Rockville, Maryland, USA: MPDAT, MS et ICF International. 24p . Disponible sur : <https://dhsprogram.com/pubs/pdf/sr221/sr221.pdf> consulté le 03/01/2021
- MST/UNFPA (Ministère de la Santé du Togo/ United Nations Population Fund), 2014.** Principaux indicateurs de santé en 2014. 66p. Disponible sur <https://togo.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/PRINCIPAUX%20INDICATEURS%20DE%20SANTE%20AU%20TOGO%202014.pdf> consulté le 03/01/2021

- Mubarak A.E., 2005.** Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes. *Food Chemistry*, 89, 489-495.
- Nadjiam D., Doyam N.A., Le Diambo B., 2015.** Etude de la variabilité agromorphologique de quarante-cinq cultivars locaux de niébé (*Vigna unguiculata*, L. Walp.) de la zone soudanienne du Tchad. *Afrique SCIENCE*. 11(3), 138 - 151
- Nestel P., Cehun M., Chronopoulos A., 2004.** Effects of long-term consumption and single meals of chickpeas on plasma glucose, insulin, and triacylglycerol concentrations. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79(3), 390-395.
- Ng N.Q., 1995.** Cowpea. In Smart J, Simonds NW (Eds) *Evolution of Crop Plants* (2<sup>nd</sup> Edition), Longman, Londres, Royaume-Uni, pp. 326–332
- Ng N.Q., Padulosi S., 1988.** Distribution du pool génétique du niébé et amélioration des cultures. In Ng NQ, Perrino P, Attere F, Zedan H (Eds.), *Crop Genetic Resources of Africa*, Vol II. CIRP, Rome, pp. 161–174
- Ngarmasak T., 1989.** Development of cowpea products for utilization in the villages of north eastern Thailand. In paper presented at consultants meeting on uses of grain legumes ICRESAT, Patancheru, Andhra Pradesh, India, pp. 203-209
- Nnanna I. A., Philips R. D., Mc Watters K. H., Hung Y. C., 1990.** Effect of germination on the physical, chemical and sensory characteristics of cowpea products: floor, paste, and akara. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 812-816
- Nout M.J.R., 1994.** Fermented foods and food safety. *Food Research International*, 27, 291-298.
- Nout M.J.R., Sarkar P.K., 1999.** Lactic acid food fermentation in tropical climates. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 76, 395-401.
- Nti C.A., Plahar W.A., 1995.** Chemical and biological characteristics of a West African weaning food supplemented with cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plant Foods for Human Nutrition* 48, 45-54
- Nussinovitch A., Ak M.M., Normand M.D., Peleg M., 1990.** Characterization of gellan gels by uniaxial compression, stress relaxation and creep. *J. Texture Stud.* 21, 37–49.
- Nwaga D., Omoloko C., Nfonfu A., Kengni E., Titanji Pk., 2000.** Caractérisation des protéines de réserve des graines d'arachide (*Arachis hypogea* L.) et du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Agronomie africaine*, 12 (3), 115 -126.
- Nyabyenda P., 1987.** La production des légumineuses alimentaires au Rwanda. In (Ed) AUPELF, *Les légumineuses alimentaires en Afrique*. Colloque organisé par l'Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger. 79-86.
- OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques), 2005.-** Manuel d'évaluation de la biodiversité : Guide à l'intention des décideurs. OCDE, 173 p
- Ofuya Z.M., 2002.** The ability of raw and processed cowpea to support growth in weanling wistar strain rats. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 8, 499 - 504.
- Okechukwu P.E., Rao M.A., 1996.** Kinetics of Cowpea Starch Gelatinization Based on Granule Swelling. *Starch/Stärke*, 48, Nr. 2, S. 43-47

- Oniang’O R.K., Mutuku J.M., Malaba S.J., 2003.** Contemporary African food habits and their nutritional and health implications. *Asia Pacific J Clin Nutr*, 12 (3), 231-236
- Onwuliri V. A., Obu J. A., 2002.** Lipids and other constituents of *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* grown in northern Nigeria. *Food Chemistry*, 78, 1–7
- Osseyi E.S.G., Lamboni C., Lawson L., 2003.** Conception de chips riches en protéines à base de céréales et de légumineuses. In 2<sup>ème</sup> Atelier international/ Voies alimentaires d’amélioration des situations nutritionnelles. Ouagadougou – Burkina Faso. Pp 663-670.
- Ovarlez G., 2011.** Caractérisation rhéologique des fluides à seuil, *Rhéologie*, 20, 28 – 43.
- Owade J.O., Abong G., Okoth M., Mwang’ombe A.W., 2020.** A review of the contribution of cowpea leaves to food and nutrition security in East Africa. *Food Sci Nutr*. 8, 36–47.
- Padulosi S., 2006.** Hunger and poverty: the role of biodiversity. In S. Bala Ravi *et al.* (Eds.), Report of an international consultation on the role of biodiversity in achieving the UN Millennium Development Goal of Freedom from Hunger and Poverty. Chennai, India, 57- 69
- Padulosi S., Hoeschle-Zeledon I., 2004.-** Underutilized plant species: what are they? *LEISA Magazine*, 20 (1), 5-6
- Padulosi S., Ng N., 1997.** Origin, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In Singh B, Mohan Raj D, Dashiell K, Jackai L. (Eds), *Advances in cowpea research*. International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), Ibadan-Nigeria, pp 1–12
- Pandurangan S., Sandercock M., Beyaert R., Conn K.L., Hou A., Marsolais F., 2015.** Differential response to sulfur nutrition of two common bean genotypes differing in storage protein composition. *Frontiers in Plant Science*. 6 (92), 1-11
- Pang Z., Cao J., Li H., Chen C., Liu X., 2020.** Rheology and tribology properties of cereal and legume flour paste from different botanical origins. *Journal of Food Science*, 85, 4130–4140.
- Panlassigui L. N., Panlilio L. M., Madrid J. C., 1995.** Glycemic response in normal subjects to five different legumes commonly used in the Philippines. *International Journal of Food Sciences & Nutrition*, 46 (2), 155-160
- Papadopoulou A., Frazier R. A., 2004.** Characterization of protein-polyphenol interactions. *Trends in Food Science & Technology* 15, 186-190.
- Park O.J., Kang N.E., Chang M.J., Kim W.K., 2004.** Resistant starch supplementation influences blood lipid concentrations and glucose control in overweight subjects. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 50, 93-99
- Pasquet R.S., 1993b.** Variation at isozymes loci in wild *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (*Fabaceae Phaseoleas*). *Plant Systematics and Evolution*, 186, 157-173
- Pasquet R.S., 1997.** A new subspecies of *Vigna unguiculata* (Leguminosae – Papilionoideae). *Kew Bulletin*, 52 (4), 838-839
- Pasquet R.S., 1998.** Morphological study of cultivated cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp Importance of ovule number and definition of cv. Gr. *Melanophthalmus*. *Agronomies*, 18, 61-70

- Pasquet R.S., 1993a.** Classification intra spécifique des formes spontanées de *Vigna unguiculata* (L.) Walp à partir de données morphologiques. Bulletin du Jardin Botanique National de Belgique, 62, 127-173
- Pasquet R.S., 1999.** Genetic relationships among subspecies of *Vigna unguiculata* (L.) Walp based on allozyme variation. Theor Appl Genet, 98, 1104–1119
- Pasquet R.S., Baudouin J.P., 1997.** Le niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, In L'amélioration des plantes tropicales, Cirad-Orstorm, Montpellier, France, p 483-505
- Pearson D., 1976.** The chemical analysis of foods. 7<sup>th</sup> Edition Churchill Livingstone, London, UK: pp. 7-11
- Pellerin C., Pellat B., 1986.** Biochimie odonto-stomatologique. Paris : Masson, 1986, 263 p.
- Périssé J., O'cloo P., 1962.** L'alimentation des populations rurales du Togo : Niveaux de consommation, besoins nutritionnels, dépenses alimentaires, recommandations pour améliorer l'alimentation. Annales de la nutrition et de l'alimentation, 16, 1-58
- Philips R. D., 1993.** Starchy legumes in human nutrition, health and culture. Plant Food for Human Nutrition, 44, 195-211.
- Phillippy Brian Q., 2003.** Inositol phosphates in foods. Advances in Food and Nutrition Research, 45, 1-60
- Phillips R.D., Chinnan M.S., Branch A.L., Miller J., McWatters K.H., 1988.** Effects of pretreatment on functional and nutritional properties of cowpea meal. J. Food Sci. 53, 805-809.
- Phillips R.D., McWatters K.H., Chinnan M.S., Hung Y.C., Beuchat L.R., Sefa-Dedeh S., Sakyi-Dawson E., Ngoddy P., Nnanyelugo D., Enwere J., Komey N.S., Liu K., Mensa-Wilmot Y., Nnanna I.A., Okeke C., Prinyawiwatkul W., Saalia F.K., 2003.** Utilization of cowpeas for human food. Field Crops Research, 82, 193-213
- Piergiovanni A.R., Della G.C., Singh B.B., Singh S.R., Ng N.Q., Perrino P., 1990.** Biochemical seed Analysis in Relation to Bruchid Resistance, In (Eds) N, Q, Ng and L. M. Monti, Cowpea Genetic Resources, contributions in cowpea exploration, evaluation and research from Italy and the International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, pp 119 - 127
- Pinstrup-Andersen P., 1985.** Food prices and the poor in developing countries. European Review of Agricultural Economics, 12, 69-81.
- Piper C.V., 1912.** Agricultural Varieties of the Cowpea and Immediately Related Species. U.S. Government Printing Office.160p
- Plahar W.A., Annan N.T., Nti C.A., 1997.** Cultivar and processing effects on the pasting characteristics, tannin content and protein quality and digestibility of cowpea (*Vigna unguiculata*). Plant Foods for Human Nutrition 51, 343-356
- PNAN, 2010.** Politique Nationale en matière d'Alimentation et de Nutrition. 4 -ème Draft, Ministère de la santé / République Togolaise. 61p. Disponible sur <https://extranet.who.int/nutrition/gina/sites/default/filesstore/TGO%202010%20POLITIQUE%20NUTRITION.pdf> Consulté le 10/10/2021
- Podesta F.E., Plaxton W.C., 1994.** Regulation of cytosolic carbon metabolism in germinating *Ricinus communis* cotyledons I. Developmental profiles for the activity, concentration, and

molecular structure of the pyrophosphate and ATP dependent phosphofructokinases, phosphoenolpyruvate carboxylase and pyruvate kinase. *Planta*, 194, 374-380

**Pourfarzad A., Yousefi A., Ako K., 2021.** Steady/dynamic rheological characterization and FTIR study on wheat starch-sage seed gum blends. *Food Hydrocolloids*, 111, 106380.

**Price K.R., Lewis J., Wyatt G.M., Fenwick R.G., 1988.** Flatulence – causes, relation to diet and remedies. *Nahrung*, 32, 609-626

**Prodanov M., Sierra I., Vidal-Valverde C., 2004.** Influence of soaking and cooking on the thiamin, riboflavin and niacin contents of legumes. *Food chemistry*, 84, 271-277.

**Quin M.F., 1997.** Introduction, *In* Singh BB, Mohan Raj DR, Dashiell KE and Jackaï LEN, (Eds), *Avances in cowpea research*, Ibadan: IITA, pp 30–49.

**Rabearimanana N.O., 2004.** Potentialités nutritionnelles de deux variétés de niébé, *Vigna unguiculata*, Une Fabaceae. (Mémoire de DEA de Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et à la nutrition). Faculté des sciences : Université d'Antananarivo Madagascar. 50p.

**Rabemahefa F., 1994.** Contribution à l'étude de la valeur nutritionnelle de 5 variétés de pois du cap. Mémoire de DEA de Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et à la nutrition. Faculté des sciences : Université d'Antananarivo Madagascar, 56p.

**Rachie K.O., Roberts L.M., 1974.** Grain legumes of the lowland tropics. *Advances in Agronomy*, 26, 1-132

**Rakotondrasoa H.E., 2016.** Consommation des légumineuses dans les regions Androy et Anosy. Mémoire de Master. Université d'Antananarivo Madagascar, 103p.

**Rakotosamimanana V.R., Arvisenet G., Valentin D., 2014.** Studying the nutritional beliefs and food practices of Malagasy school children parents. A contribution to the understanding of malnutrition in Madagascar. *Appetite*, 81, 67 - 75.

**Ramaherisoa M., 2004.** Potentialités nutritionnelles des graines de voandzou : Utilisation dans l'aliment de complément du jeune enfant. Mémoire de DEA de Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et à la nutrition. Faculté des sciences : Université d'Antananarivo Madagascar, 97p.

**Ramírez-Cárdenas L., Leonel A.J., Costa N.M.B., Reis F.P., 2010.** Zinc bioavailability in different beans as affected by cultivar type and cooking conditions. *Food Res. Int.* 43(2), 573–581

**Randrianasolo O.F.M.M., 2013.** Consommation et caractéristiques nutritionnelles des graines de légumineuses dans la région Androy ; effets des procédés de préparation sur les teneurs en facteurs antinutritionnels. Mémoire DEA en sciences de la vie. Université d'Antananarivo /Madagascar, 125p.

**Rao B., Narasinga S., Prabhavathi T., 1982.** Tannin Content of Foods Commonly Consumed in India and its Influence on Ionisable Iron. *J. Sci. Food Agric.* 33, 89 - 96

**Ratnaningsih N.S., Harmayani E., Marsono Y., 2016.** Composition, microstructure, and physicochemical properties of starches from Indonesian cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties. *Intl Food Res J.* 23(5), 2041-2049.

- Reamakers K.M., 2001.** L'agriculture en Afrique tropicale. Ed. DGCI : Bruxelles, Belgique, pp 368-383
- Reddy N.R., Pierson M.D., Sathe S.K., Salunkhe D.K., 1985.** Dry Bean Tannins: A Review of Nutritional Implications. *JAOCS*, 62(3), 541 - 549
- Rey C., 2017.** Conditions hydrodynamiques et organisation structurale dans le dépôt formé lors de l'ultrafiltration tangentielle : application à la bioraffinerie. Thèse de doctorat, spécialité : Mécanique des fluides, Energétique, Procédés. Communauté Université Grenoble Alpes France. 257p. soutenue le 19 décembre 2017
- Reynoso-Camacho R., Gonzalez de Mejia E., Loarca-Pina G., 2003.** Purification and acute toxicity of a lectin extracted from tepary bean (*Phaseolus acutifolius*). *Food and Chemical Toxicology*, 41, 21-27
- Ribéreau-Gayon P., 1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Editions Dunod : Paris, 254 pp
- Riley I.E., 2010.** Spécimens d'herbier conservés : *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Herbarium de l'Université de Floride / USA. Disponible sur <https://www.floridamuseum.ufl.edu/herbarium/cat/search.asp?accno=228914> consulté le 18/10/2021
- Ritson C., Petrovici D., 2001.** The Economics of Food Choice: Is Price Important? *In* L. J. Frewer, E. Risvik, H. Schifferstein (Eds.), *Food, People and Society. A European Perspective of Consumers' Food Choices*. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg Germany, 467p
- Rivas-Vega M.E., Goytortúa-Bores E., Ezquerro-Brauer J.M., Salazar-Garcia M.G., Cruz-Suárez L.E., Nolasco H., Civera-Cerecedo R., 2006.** Nutritional value of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) meals as ingredients in diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). *Food Chemistry*, 97, 41 - 49
- Roberts E., Summerfield R., Ellis R., Qi A., 1993.** Adaptation of Flowering in Crops to Climate. *Outl. Agric.*, 22, 105-110
- Roca W.M., Munoz L.C., Chavarriaga P., Ramirez H., 1990.** The potential role of biotechnology in the improvement of Phaseolus beans. *In* CTA and FAO (Eds.), *Plant biotechnologies for developing countries*, 295-299.
- Rozin P., 1996.** The socio-cultural context of eating and food choice. *In* H. L. Meiselman & H. J. H. MacFie (Eds.), *Food choice, acceptance and consumption*, UK: Blackie Academic & Professional, pp. 83-102
- Rozin P., 2007.** Food choice: an introduction. *In* L. Fewer & H. Van Trijp (Eds.), *Understanding consumers of food products*, Cambridge England: Woodhead, pp. 3-29.
- Salunkhe D. K., Kadam S. S., 1989.** Production, distribution, and consumption. *In* CRC Hand Book of World Food Legumes: Nutritional Chemistry, Processing Technology, and Utilisation, I, 1-21
- Salunkhe D.K., Jadhav S.J., Kadam S.S., Chavan, J.K., 1982.** Chemical, biochemical and biological significance of polyphenols in cereal and legumes. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 17, 277-305.



- Sampath S., Madhava Rao T., Kondal Reddy K., Arun K., Reddy P.V.M., 2008.** Effect of germination on oligosaccharides in cereals and pulses. *Journal of Food Science and Technology*, 45, 196–198.
- Sandberg A.S., Svanberg U., 1991.** Phytate hydrolysis by phytase in cereals. *Food Sci.* 56 (7) 1330-1333.
- Sanginga N., Bergvinson D., 2015.** Oléagineux et Niébé. Nourrir l'Afrique : conférence de Dakar du 21 au 23 octobre 2015, 30 p. Disponible sur [https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Events/DakAgri2015/Ol%C3%A9agineux\\_et\\_Ni%C3%A9b%C3%A9.pdf](https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Events/DakAgri2015/Ol%C3%A9agineux_et_Ni%C3%A9b%C3%A9.pdf) Consulté le 21/03/2020
- Santos C.A.F., Boiteux L.S., 2013.** Breeding biofortified cowpea lines for semi-arid tropical areas by combining higher seed protein and mineral levels. *Genetics and Molecular Research*, 12(4), 6782-6789
- Sathya A., Siddhuraju P., 2015.** Effect of processing methods on compositional evaluation of underutilized legume, *Parkia roxburghii* G. Don (yongchak) seeds. *J Food Sci Technol*, 52, 6157-6169.
- Sattar A., Durrani S.K., Mahmood F., Admad A., Khan I., 1989.** Effect of soaking and germination temperatures on selected nutrients and antinutrients of mungbean. *Food Chemistry*, 42, 111-120
- Schaal B., Marlier L., Soussignan R., 2000.** Human Foetuses Learn Odours from their Pregnant Mother's Diet. *Chemical Senses*, 25, 729-737.
- Schenkels L.C, Veerman E.C, Nieuw A.A.V., 1995.** Biochemical composition of human saliva in relation to other mucosal fluids. *Crit. Rev. Oral Biol. Med.*, 6 (2) 161-175.
- Schneider A.V.C., 2002.** Overview of the market and consumption of pulses in Europe. *British Journal of Nutrition*, 88 (3), S243–S250
- Shils M.E., Olson J.A., Shike M., Ross A.C., 1999.** Modern nutrition in health and disease. *British Journal of Nutrition*, 82, 331–332
- Shimelis E.A., Rakshit S.K., 2008.** Influence of natural and controlled fermentations on  $\alpha$ -galactosides, antinutrients and protein digestibility of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Int J Food Sci Technol*. 43, 658 - 665
- Shrimpton R., Victoria C.G., de Onis M., Lima R.C., Blössner M., Clugston G., 2001.** Worldwide timing of growth faltering: implications for nutritional interventions. *Pediatrics*, 107(5), e75.
- Siegel A., Fawcett B., 1978.** Transformation et utilisation des légumineuses alimentaires : application particulière aux pays en développement. Ottawa Canada : CRDI, 65p
- Silva L.P., Leite J.R.S.A., Bloch C., Freitas S.M., 2001.** Stability of a black eyed pea trypsin/chymotrypsin inhibitor (BTCI). *Protein and Peptide Letters*, 8, 33-38
- Simon M.V., Benko-Iseppon A.M., Resende L.V., Winter P., Kahl G., 2007.** Genetic diversity and phylogenetic relationships in *Vigna* Savi germplasm revealed by DNA amplification fingerprinting. *Genome*, 50(6), 538–547.
- Singh B.B., 2005.** Niébé *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In Singh RJ, Jauhar PP (Eds) *Ressources génétiques, ingénierie chromosomique et amélioration des cultures*, Boca Raton, Floride, États-Unis : CRC Press, Volume 1, p. 117–162

- Singh J., 1988.** Consumer Complaint Intentions and Behaviour: Definitional and Taxonomical Issues. *Journal of Marketing*, 52 ,1, 93 – 107.
- Singleton V.L, Rossi J.A., 1965.** Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents, *American journal of Enology and Viticulture*, 16 (3) ,144-158.
- Sodjinou R.S., 2006.** Evaluation of food composition tables commonly used in Benin: Limitations and suggestions for improvement. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 518–523.
- Soulé B.G., 2002.** Le marché du niébé dans les pays du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin et Nigeria). *Laboratoire d'Analyse Régionale et d'Expertise Sociale*, 31p.
- Spotti, M.J., Tarhan Ö., Schaffter S., Corvalan C., Campanella O.H., 2017.** Whey protein gelation induced by enzymatic hydrolysis and heat treatment: Comparison of creep and recovery behavior. *Food Hydrocolloids*, 63, 696-704.
- Sprakel, J., Lindstrom, S.B., Kodger T.E., Weitz, D.A., 2011.** Stress enhancement in the delayed yielding of colloidal gels. *Phys. Rev. Lett.*106 (24), 248303
- Stanton W.R., Doughty J., Orraca-Tetteh R., Steele W., 1966.** Grain legumes in Africa. *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture*, Rome,191p.
- Steele W., 1976.** Cowpeas, *In* N. W. Simmonds (Ed.), *Evolution of crop plants*. pp. 183-185. Longman, London UK.
- Steffe J.F., 1996.** *Rheological Methods in Food Process Engineering*. East Lansing, USA: Freeman press, 430p
- Swanson B.G., Hughes J.S., Rasmussen H.P., 1985.** Seed microstructure: review of water imbibition in legumes. *Food Microstructure*, 4, 115–124.
- Taiwo K.A., Akanbi C., Ajibola O.O., 1997.** The effects of soaking and cooking time on the cooking properties of two cowpea varieties. *Journal of Food Engineering* ,33, 337-346
- Talens P., Castells M.L., Verdu S., Barat J.M., Grau R., 2021.** Flow, viscoelastic and masticatory properties of tailor-made thickened pea cream for people with swallowing problems. *Journal of Food Engineering*, 292, 110265.
- Tangtrakul K., 2010.** Food accessibility and food choice: A comparative analysis of food choice in developed and developing populations. *Middle States Geographer*, 43, 35-43
- Tarawali S. A., Okike I., Kristjanson P.K., Singh B.B., Thornton P., 2005.** Dual purpose cowpea for West Africa. *In* Acts of XX International Grassland Conference: Offered papers. (Eds.) F. P. O'Mara, R.J. Wilkins, L. 't Mannetje, D.K. Lovett, P.A.M. Rogers and T.M. Boland, Wageningen Academic Publishers: The Netherlands, 977p Disponible sur : [https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=CtD-6CPdZCgC&oi=fnd&pg=PA317&dq=Kristjanson+et+al+2001+cowpea&ots=LYk9DPmT48&sig=RMhf5JOEzDk5HbRHRgFQjWhZxvs&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Kristjanson%20et%20al%202001%20cowpea&f=false](https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=CtD-6CPdZCgC&oi=fnd&pg=PA317&dq=Kristjanson+et+al+2001+cowpea&ots=LYk9DPmT48&sig=RMhf5JOEzDk5HbRHRgFQjWhZxvs&redir_esc=y#v=onepage&q=Kristjanson%20et%20al%202001%20cowpea&f=false) consulté le 15/09/2021
- Tarawali S.A., Singh B.B., Gupta S.C., Tabo R., Harris F., Nokoe S., Fernández -Rivera S., Bationo A., Manyong V.M., Makinde K., Odion E.C., 2002.** Cowpea as a key factor for a new approach to integrated crop-livestock systems research in the dry savannas of West Africa, *In* Fatokun C.A., S.A.Tarawali, B.B. Singh, P.M. Kormawa, and M.Tamò (Eds ), *Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production* , Proceedings of

the World Cowpea Conference III held at the International Institute of Tropical Agriculture (IITA): Ibadan, Nigeria, 453p

**Tarawali S.A., Singh B.B., Peters M, Blade S. F., 1997.** Cowpea haulms as fodder *In* Avances in cowpea recherche, (Eds) B.B Sigh, D.R. Mohan Raj, K.E. Dashiell and L.E.N. Jackai, IITA and JIRCAS: Ibadan, Nigeria, pp 313-325

**Tardieu M., Séné D., 1966.** Le haricot niébé (*Vigna unguiculata* Walpers) au Sénégal : L'Agronomie Tropicale. Riz et Riziculture et Cultures Vivrières Tropicales, 21 (8), 918-926.

**Tarhan O., Spotti M.J., Schaffter S., Corvalan C.M., Campanella O.H., 2016.** Rheological and structural characterization of whey protein gelation induced by enzymatic hydrolysis. Food Hydrocolloids, 61, 211-220.

**Teko E., Osseyi E., Munialo C.D., Ako K., 2021.** The transitioning feature between uncooked and cooked cowpea seeds studied by the mechanical compression test. Journal of Food Engineering, 292, 110368.

**Thorne M.J., Thompson L.U., Jenkins D.J., 1983.** Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes. The American Journal of Clinical Nutrition, 38, 481-488

**Timitey A., Adinsi L., Madodé Y.E., Cissé F., Akissoé N., Hounhouigan D.J., 2021.** Pratiques de production et caractéristiques physiques et chimiques du shô basi, un couscous de niébé (*Vigna unguiculata*) produit au Mali. Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev. 21(2), 17509 - 17528

**Timko M.P., Gowda B.S., Ouedraogo J., Ousmane B., 2007.** Molecular markers for the analysis of resistance to *Striga gesnerioides* in cowpea. *In* Ejeta G, Gressell J (Eds) Integrating New Technologies for Striga Control: Towards Ending the Witch-hunt, World Scientific Publishing Co. Pte Ltd, Singapore, 356p

**Timko M.P., Singh B.B., 2008.** Cowpea, a Multifunctional Legume, *In* P.H. Moore, R. Ming (Eds.), Genomics of Tropical Crop Plants. Springer: New York, USA. 227-258p

**Tolkach A., Kulozik U., 2007.** Reaction kinetic pathway of reversible and irreversible thermal denaturation of b-lactoglobulin. Lait, 87, 301–315.

**Trèche S., 2002.** Complementary foods in developing countries: importance, required characteristics, constraints and potential strategies for improvement, *In* Kolsteren P, Hoérée T, Perez-Cueto (Eds), Proceedings of the International Colloquium promoting growth and development of under fives, Antwerpen ITG Press: Belgium, 132-148

**Trowell H., Burkitt D., Heaton K., 1985.** Dietary Fibre, Fibre-Depleted Foods and Disease. Academic Press: New York, USA, pp. 105-131.

**Udensi E.A., Ekwu F.C., Isinguzo J.N., 2007.** Antinutrient factors of vegetable cowpea (*Sesquipedallis*) seeds during thermal processing. Pakistan Journal of Nutrition, 6 (2), 194 - 197.

**UNICEF, 1998.** La situation des enfants dans le monde. 74p Disponible sur <http://www.albacteria.ma/xmlui/bitstream/handle/123456789/30743/0499La%20situation%20des%20enfants%20dans%20le%20monde%201998%20-%20regard%20sur%20la%20nutrition.pdf?sequence=1> consulté le 25/05/2020

**UNICEF, 1998.** The state of the world's children. Oxford University Press.36p

**UNICEF, 2017.** Annual Report / Togo. 56p Disponible sur <https://docplayer.fr/110734708-Unicef-annual-report-2017-togo.html> Consulté le 26/05/2020

**UNICEF, 2013.** Améliorer la nutrition de l'enfant un objectif impératif et réalisable pour le progrès mondial. 132p Disponible sur le [https://www.unicef.fr/sites/default/files/userfiles/UNICEF\\_NutritionReport\\_FR.pdf](https://www.unicef.fr/sites/default/files/userfiles/UNICEF_NutritionReport_FR.pdf) . consulté le 26/05/2020

**Urbano G., Lopez-jurado M., Aranda P., Vidal-Valverde C., Tenorio E., Porres J., 2000.** The role of phytic acid in legumes: antinutrient or beneficial function? J. Physio. Biochem., 56 (3): 283-294

**Uwaegbute A. C., Irogbu C. U., Eke O., 2000.** Chemical and sensory evaluation of germinated cowpea (*Vigna unguiculata*) and their products. Food Chemistry, 68(2),141-146.

**Vaintraub Iosif A., Lapteva Natalya A., 1988.** Calorimetric Determination of Phytate in Unpurified Extracts of Seeds and the Products of Their Processing. Analytical Biochemistry, 175, 227-230

**Vasconcelos I.M., Maia F. M.M., Farias D.F., Campello C.C., Carvalho A.F.U., Moreira R.A., Olive ira J.T.A., 2010.** Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. Journal of Food Composition and Analysis, 23 (1) 54-60

**Venn B.J., Mann J.I., 2004.** Cereal grains, legumes and diabetes. European Journal of Clinical Nutrition, 58 (11) 1443-1461

**Verdcourt B., 1970.** Studies in the Leguminosae – Papilionoideae for “flora of tropical East Africa”. IV Kew Bulletin, 24(3), 507-569

**Voisey P.W., 1971.** Modernization of texture instrumentation. J. Texture Stud. 2, 129–195.

**Wang N., Hatcher D.W., Gawalko E.J., 2008.** Effect of variety and processing on nutrients and certain antinutrients in field peas (*Pisum sativum*). Food Chemistry, 111, 132-138.

**Wang N., Hatcher D.W., Tyler R.T., Toews R., Gawalko E.J., 2010.** Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.) Food Research International, 43(8), 589-594.

**Wang Trevor L., Domoney Claire, Hedley Cliff L., Casey Rod, Grusak Michael A., 2003.** Can We Improve the Nutritional Quality of Legume Seeds? Plant Physiology, 131, 886 - 891

**Weaver C.M., Kannan S., 2002.** Phytate and mineral bioavailability, In (Eds) N.R. Reddy, S.K. Sathe, Food phytates, CRC: Boca Raton, Floride, USA, pp. 211-224.

**Welch R.M., Graham R.D., 2004.** Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. Journal of Experimental Botany, 55, 353-364

**WHO, 1998.** Complementary feeding of young children. Repport of a technical consultation supported by WHO, UNICEF, University of California/Davis and ORSTOM. 28-30 Novembre 1995, Montpellier France. WHO/NUT/96.9. Geneva, World Health Organization. 56p. Disponible sur [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/63915/WHO\\_NUT\\_96.9.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/63915/WHO_NUT_96.9.pdf?sequence=1&isAllowed=y) consulté le 23/12/2020

**WHO, 1999.** Données Scientifiques relatives aux Dix Conditions pour le Succès de l'Allaitement (révisé). Santé et Développement de l'enfant et de l'adolescent. Genève, 122p

**WHO, 2000.** Collaborative study team on the prevention of infant mortality: Effect of breastfeeding on infant and child mortality due to infectious diseases in less developed countries: a pooled analysis. *The Lancet*, 355, 451-455

**WHO, 2001.** Report of the expert consultation on the optimal duration of exclusive breastfeeding. Disponible sur [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/67219/WHO\\_NHD\\_01.09.pdf?ua=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/67219/WHO_NHD_01.09.pdf?ua=1)  
Consulté le 28/12/2020

**WHO/UNICEF, 2003.** Global strategy for infant and young child feeding. *A guide for action*. Geneva: World Health Organisation. 37p Disponible sur <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42590/9241562218.pdf?sequence=1&isAllowed=y> consulté le 12/08/2020

**Wilcke H. L., 1977.** Improving the nutrient quality of cereals. Report of second workshop on breeding and fortification, University of Colorado Conference Center, USA, 354p

**Willett W., Rockstrom J., Loken B., Springmann M., Lang T., Vermeulen S., 2019.** Our food in the anthropocene: The EAT Lancet commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393, 447–492.

**Xavier-Filho J., Ventura M.M., 1988.** Trypsin inhibitors in Cowpea: a review. *Comments Agricultural and food Chemistry*, 1, 239-314

**Yamada Y., Hosoya S., Nishimura S., Tanaka T., Kajimoto Y., Nishimura A., Kajimoto O., 2005.** Effect of bread containing resistant starch on postprandial blood glucose levels in humans. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 69(3), 559-566

**Yeh C.T., Yen G.C., 2003.** Effects of phenolic acids on human phenol sulfotransferases in relation to their antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1474-1479

**Yousefi A.R., Ako K., 2020.** Controlling the rheological properties of wheat starch gels using *Lepidium perfoliatum* seed gum in steady and dynamic shear. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 928–936.

**Yousefi A.R., Razavi S.M.A., 2016.** Steady shear flow behavior and thixotropy of wheat starch gel: Impact of chemical modification, concentration and saliva addition. *Journal of Food Process Engineering*, 39(1), 31-43

**Yumes A.N.A., Andrade M.T., Sales M.P., Morais R.A., Fernandes K.V.S., Gomes V.M., Xavier-Filho J., 1998.** Legume seed vicilin (7S storage proteins) interfere with the development of the cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus* (F)). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 111-116

**Zia-Ul-Haq M., Ahmad S., Chiavaro E., Mehjabeen A.S., Sagheer A., 2010.** Studies of oil from cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) cultivars commonly grown in Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 1333-1341

**Ziegler P., 1995.** Carbohydrate degradation during germination, *In* (Eds) K.J. Bradford, J. Kigel, G. Galili, *Seed development and germination*, Routledge: New York, 447-474

# **Annexes**

## Annexe 1

UNIVERSITE DE LOME  
FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE/ NUTRITION  
ECOLE SUPERIEURE DES TECHNIQUES BIOLOGIQUES ET ALIMENTAIRES (ESTBA)  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DES ALIMENTS ET TECHNOLOGIE AGROALIMENTAIRE  
Tel : (00228) 22 21 64 35  
BP : 1515 Lomé - TOGO

Lomé, le .....

### **FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT LIBRE ET ECLAIRE :** **ENQUETE ALIMENTAIRE PRELIMINAIRE**

**(Le contenu de ce Formulaire sera traduit en langue accessible aux participantes)**

Madame,

Je m'appelle TEKOU Ekoue, je suis doctorant à l'Université de Lomé (Faculté des Sciences / ESTBA). Nous sommes en train d'effectuer une enquête dans le service de pédiatrie (unité des prématurés) du CHU Sylvanus Olympio de Lomé sur la connaissance et la consommation de la purée de niébé « Adowè » auprès des mamans. Vous avez été choisie pour cette enquête et nous souhaiterions que vous y participiez. Je vais prendre vos caractéristiques sociodémographiques (nom et prénoms, âge, ethnie, niveau scolaire, activité professionnelle, statut matrimonial, parité, taille du ménage) que nous rapporterons avec votre accord et j'aimerais vous poser des questions sur votre alimentation spécialement sur la connaissance et consommation de purée de niébé « Adowè » dans votre ménage.

Nous nous engageons à garder confidentielles toutes les informations vous concernant et votre anonymat sera préservé lors de la publication des résultats. Vous pouvez refuser de participer, vous soustraire à tout moment ou ne pas répondre à toutes les questions sans en donner les raisons et sans que soit altérée votre prise en charge médicale et les soins prodigués par le personnel du service. Nous vous invitons cordialement à participer à l'enquête car les informations que vous allez nous fournir sont très importantes et les résultats de l'enquête permettront à aider à l'élaboration d'une formule améliorée de purée « Adowè » qui sera plus accessible afin de permettre aux autorités sanitaires à améliorer la prise en charge nutritionnelle des enfants de moins de 5 ans. Par ailleurs vous ne serez pas rémunérée à l'issue de cet entretien. Si vous acceptez de participer à cette évaluation, j'aimerais que vous apposiez votre signature ou empreinte digitale précédée de la mention « **lu et approuvé** ». Vous pouvez poser toutes les questions concernant l'étude et si vous souhaitez plus tard avoir des informations complémentaires, veuillez nous contacter au .....

**Fait à Lomé le ..... En 2 exemplaires**

**Signatures :**

**La participante**

**L'investigateur principal**

**Lu et approuvée**

## Annexe 2

**FICHE D'ENQUETE ALIMENTAIRE**

**Données Socio-démographiques**

Nom	.....
Prénoms	.....
Ethnie / où habitez-vous ?	.....
Age (date de naissance)	.....
Statut matrimonial	1-Marié polygamie /___/, 2-Marié monogamie /___/, 3-Union libre /___/, 4-Célibataire /___/
Parité	1-Primipare /___/, 2- Parité 2-3 /___/, 3-Parité 23 /___/,4-Nullipare /___/
Nombre d'enfants selon l'âge	.....Enfants (05ans),..... Enfants (5 -12 ans)....., Enfants (12-17ans)
Taille du ménage	..... Nombre de personnes dans le ménage
Niveau d'instruction du chef de famille	1-Aucune instruction /___/,2- Primaire/___/, 3-Secondaire 1 <sup>er</sup> cycle /___/, 4-Secondaire 2 <sup>ème</sup> cycle/___/, 5-Supérieur et plus/___/
Niveau d'instruction de la Maman ou femme qui garde le nouveau-né	1-Aucune instruction /___/, 2-Primaire/___/, 3-Secondaire 1 <sup>er</sup> cycle /___/, 4-Secondaire 2 <sup>ème</sup> cycle/___/, 5-Supérieur et plus/___/
Activité professionnelle principale du chef de ménage	1-Chômeur/___/, 2-Conducteur de taxi moto /___/, 3- Ouvrier /___/, 4-Fonctionnaire /___/,5-Commerçant/___/, 6-Autre à préciser ...../___/
Activité professionnelle principale de la maman ou femme qui garde le nouveau-né	1-Femme de ménage /___/, 2-Menagère /___/, 3-Artisane /___/, 5-Petite commerçante/___/, 6-Fonctionnaire/___/, 7-Grande commerçante /___/ 7-Autre à préciser...../___/

**Données sur la connaissance, Consommation et les Techniques Culinaires de la purée de**

**niébé « Adowè »**

1- Avez-vous connaissances du niébé « haricot local : Vèyi » ?

Oui/\_\_\_/ le consommez-vous ? Oui /\_\_\_/ Fréquence par semaine.....Non /\_\_\_/ Pourquoi ?.....  
Non /\_\_\_/

2- Avez-vous connaissance de la purée du niébé « Adowè » ?

Oui/\_\_\_/ C'est fait à base de quoi ?..... Non /\_\_\_/

3- Consommez-vous de la purée du niébé « Adowè » ?

Oui /\_\_\_/ Combien de fois par semaine ? :.....Pourquoi ?.....  
Non /\_\_\_/ Pourquoi ?.....

4- Donnez-vous à manger de la purée du niébé « Adowè » à vos enfants d'âge (8 mois à 2 ans) et plus ?

Oui /\_\_\_/Combien de fois par semaine ? : ..... Pourquoi ?.....  
Non /\_\_\_/ Pourquoi ?.....

5- Savez-vous comment cuisine-t-on la purée du niébé « Adowè » ?

Oui /\_\_\_/ Décrivez la démarche culinaire (les grandes étapes) :  
Non /\_\_\_/

6- Avez-vous déjà cuisiné de la purée de niébé « Adowè » pour la famille ? Oui /\_\_\_/ Combien de fois par semaine ? :.....Pourquoi ?..... Non /\_\_\_/ Pourquoi ?.....



## Annexe 3

MINISTRE DE LA SANTE DE  
L'HYGIENE PUBLIQUE ET DE L'ACCES  
UNIVERSEL AUX SOINS

REPUBLIQUE TOGOLAISE  
*Travail – Liberté – Patrie*



### EVALUATION DE PROTOCOLE DE RECHERCHE

**TITRE DU PROJET :** « Valorisation du Niébé à travers l'amélioration du procédé de fabrication et la caractérisation nutritionnelle de la purée (Adowè) »

*Protocole de Thèse de Biologie de développement/Technologie alimentaire*

Année Académique 2019-2020

**Promoteur :** Université de Lomé, ESTEBA

Investigateur principal :

- **M. TEKO Ekoué**, Doctorant,

Directeur de thèse :

- **Pr OSSEYI G. Elogo**, Laboratoire des Sciences Biomédicales, Alimentaires Et Santé Environnementale/LaSBASE/ESTBA/UL

Encadrant de Thèse :

- **Dr AKO Komla**, MAITRE DE CONFERENCE /HDR, Laboratoire Rhéologie et Procédés/Université Grenoble Alpes (France) ; 363 rue de la Chimie.

**AVIS N° 020 /2021/CBRS du 27 mai 2021**

Le Comité de Bioéthique pour la Recherche en Santé (CBRS) s'est réuni le 27 mai 2021 pour évaluer le protocole de recherche relatif à l'étude suivante : « **Valorisation du Niébé à travers l'amélioration du procédé de fabrication et la caractérisation nutritionnelle de la purée (Adowè)** ».

A l'issue de la mise en commun des rapports d'étude présentés par des personnes ressources, le CBRS s'est prononcé sur :

**1- La présentation du dossier**

- Documents du protocole d'étude : les documents sont bien présentés.
- Les outils de collecte de données sont disponibles et bien élaborés.

**2. La validité scientifique du dossier**

**Conception scientifique :**

La malnutrition reste encore prévalente au Togo comme dans la plupart des pays du tiers monde. Ce projet est une contribution à la lutte contre ce fléau au Togo, à travers la valorisation du Niébé, une légumineuse localement disponible et riche en protéines végétales.



**Hypothèse** : La problématique est bien définie.

**Méthodologie** : La méthodologie est bien adaptée à ce type d'étude.

**Faisabilité** : Le travail est réalisable.

**Objectifs** : Les objectifs sont bien définis.

**Intérêt de l'étude** : L'intérêt de ce travail est indéniable.

**Références scientifiques** : Les références sont assez fournies.

### 3. L'acceptabilité éthique

La notice d'information des participants et le formulaire de consentement sont disponibles et bien élaborés.


### 4. La conclusion

Le CBRS, à l'unanimité de ses membres présents, a émis un **favorable** pour l'exécution au Togo du protocole d'étude suivant : « **Valorisation du Niébé à travers l'amélioration du procédé de fabrication et la caractérisation nutritionnelle de la purée (Adowè)** ».

NB : A la fin de l'étude le promoteur devra déposer au secrétariat du CBRS le rapport final en 5 exemplaires.

Fait à Lomé, le 27 mai 2021

**Le Rapporteur :**

  
**ALEZA Mazabalo**



**La Présidente**

**Professeur**

**Mireille PRINCE-DAVID**

# **Articles publiés**

## Article publié 1



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

### Journal of Food Engineering

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng>



## The transitioning feature between uncooked and cooked cowpea seeds studied by the mechanical compression test

Ekoué Teko<sup>a</sup>, Elogo Osseyi<sup>a</sup>, Claire D. Munialo<sup>b</sup>, Komla Ako<sup>c,d,\*</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire des Sciences Biomédicales, Alimentaires et Santé Environnementale (LaSBASE), ESTBA/Université de Lomé, BP: 1515, Lomé, Togo

<sup>b</sup> School of Life Sciences, Coventry University, Priory Street, Coventry, CV1 5FB, UK

<sup>c</sup> Univ. Grenoble Alpes, LRP, F-38000, Grenoble, France

<sup>d</sup> CNRS, LRP, F-38000, Grenoble, France

## Article publié 2



International Journal of Food Science and Technology 2022

1

Original article

## Rheological study of cowpea puree 'adowè' and the influence of saliva on the puree viscosity

Ekoué Teko,<sup>1</sup> Komla Ako,<sup>2\*</sup>  Alireza Yousefi,<sup>3</sup> Claire D. Munialo<sup>4</sup> & Elogo Osseyi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire des Sciences Biomédicales, Alimentaires et Santé Environnementale (LaSBASE), ESTBA/Université de Lomé, BP: 1515, Lomé, Togo

<sup>2</sup> Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LRP, Grenoble 38000, France

<sup>3</sup> Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Bonab, Bonab 55517-61167, Iran

<sup>4</sup> School of Life Sciences, Coventry University, Priory Street, Coventry CV1 5FB, UK

(Received 5 December 2021; Accepted in revised form 7 February 2022)

# **Communications scientifiques**

## **Séminaires :**

- Ø « Enquête sur la consommation de Adowè : pâte de Niébé, au Togo et étude mécanique de la cuisson du Niébé (*Vigna unguiculata*) », séminaire doctoral au laboratoire Rhéologie et Procédés / Université Grenoble Alpes (Grenoble – France), Novembre 2020.
- Ø « Valorisation du niébé et de sa purée « Adowè » : connaissance, attitude et pratique des populations, effet des procédés de transformation technologique et caractérisation rhéologique », séminaire doctoral au laboratoire Rhéologie et Procédés / Université Grenoble Alpes (Grenoble – France), Juin 2022.
- Ø « Etude de l'influence de la salive sur l'écoulement de la purée de niébé « Adowè » : simulation du cisaillement en conditions orales », Journées des doctorants du Laboratoire Rhéologie et Procédés (Grenoble – France), LRP-2023, Octobre 2023.

## **Communications en conférence :**

- Ø Ekoué Teko, Elogo Osseyi, Komla Ako, Study of the activation energy and the mechanical compression to characterize the transition between uncooked and cooked state of the cowpea seeds, 5th Conference on Innovations in Food Science and Human Nutrition, Sep. 20 - 21, 2022 Barcelona, Spain.
- Ø Ekoué Teko, Elogo Osseyi, Komla Ako, Valorisation du niébé (*Vigna unguiculata*) : Etude sur la consommation de la purée de niébé « Adowè » au Togo et caractérisation rhéologique, XIX<sup>ème</sup> Edition des Journées Scientifiques Internationales de Lomé (JSIL-2022), 17 au 21 octobre 2022 sur le Campus de l'Université de Lomé – Togo.

## **Communication en Poster :**

- Ø Ekoué Teko, Elogo Osseyi, Komla Ako, the mechanical compression test to characterize the rheological properties during the cooking process of cowpea, First Scientific Day PEM department - Doctoral schools EEATS, I-MEP <sup>2</sup>, Physics, Grenoble-France, October, 2021.