

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
FACULTE DES SCIENCES

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE, EN
SCIENCES DE LA VIE, SANTE ET
ENVIRONNEMENT

UNITE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I
FACULTY OF SCIENCE

POSTGRADUATE SCHOOL
FOR LIFE SCIENCES, HEALTH AND
ENVIRONMENT

TRAINING UNIT IN LIFE
SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE
DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

LABORATOIRE DE SECURITE SANITAIRE DES ALIMENTS
FOOD SAFETY LABORATORY

**Détermination des propriétés sensorielles,
physico-chimiques et stabilisatrices des biscuits de
riz (*Oryza sativa*. L) enrichis au safou (*Dacryodes
edulis*) pendant l'entreposage et leur formulation**

THESE

Présentée et soutenue publiquement comme requis partiel en vue de l'obtention du
Doctorat/Ph.D en Biochimie

Option : Sécurité Sanitaire des Aliments
Par

EYENGA Eliane Flore

Matricule 13T2145
MSc en Sciences Alimentaire et Nutrition



Superviseur de la Thèse

Prof: MBACHAM FON WILFRED
Université Yaoundé I
Faculté des Sciences

Co-Directions

Prof: ACHU MERCY BIH LOH
Maître de Conférence,
Université Yaoundé I
Faculté des Sciences

Dr: NDINDENG SALI ATANGA
Maître de Recherche,
AfricaRice Cote-d'Ivoire

ANNEE 2022

UNIVERSITÉ DE YAOUNDE I

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES
DE LA VIE, SANTE ET ENVIRONNEMENT

UNITE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES
DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE



UNIVERSITY OF YAOUNDE I

CENTRE FOR RESEARCH AND TRAINING IN
GRADUATE STUDIES IN LIFE, HEALTH AND
ENVIRONMENTAL SCIENCES

RESEARCH AND DOCTORATE TRAINING
UNIT IN LIFE SCIENCES

DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

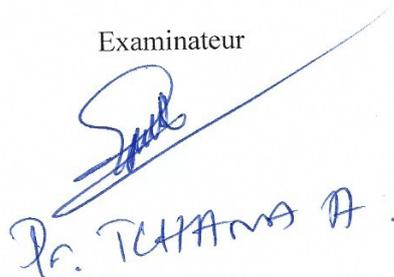
ATTESTATION DE CORRECTION

Nous, soussignés **Pr WOMENI Hilaire Macaire**, **Pr TCHANA Angèle**, **Pr NGONKEU MANGAPTCHÉ Eddy Leonard** et **Pr FOKOU Elie** respectivement Examineurs et Président du jury de Thèse de Doctorat/Ph.D en Biochimie option sécurité sanitaire des aliments, soutenue par Madame **EYENGA Eliane Flore** (Matricule **13T2145**) le lundi, 28 février 2022 à 09 heures dans la Salle S01/S02 du Nouveau Bloc Pédagogique de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I, sous le thème : « Détermination des propriétés sensorielles, physico-chimiques et stabilisatrices des biscuits de riz (*Oryza sativa*. L) enrichis au safou (*Dacryodes edulis*) pendant l'entreposage et leur formulation », attestons que la candidate a effectué les corrections conformément aux exigences du jury.

En foi de quoi, la présente attestation lui est établie pour servir et valoir ce que de droit.

Fait à Yaoundé, le 19 Mai 2022

Examineur


Pr. TCHANA A.

Président du jury


Pr. Elie Fokou
Dr. d'Etat en Biochimie
Nutrition et Sciences Alimentaires

| | | |
|--|--|---|
| UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I Faculté des Sciences Division de la Programmation et du Suivi des Activités Académiques |  | THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I Faculty of Science Division of Programming and Follow-up of Academic Affairs |
| LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS | | LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF |

ANNÉE ACADEMIQUE 2021/2022

(Par Département et par Grade)

DATE D'ACTUALISATION 22 septembre 2021

ADMINISTRATION

DOYEN : TCHOUANKEU Jean- Claude, *Maître de Conférences*

VICE-DOYEN / DPSAA : ATCHADE Alex de Théodore, *Maître de Conférences*

VICE-DOYEN / DSSE : NYEGUE Maximilienne Ascension, *Professeur*

VICE-DOYEN / DRC : ABOSSOLO Monique, *Maître de Conférences*

Chef Division Administrative et Financière : NDOYE FOE Marie C. F., *Maître de Conférences*

Chef Division des Affaires Académiques, de la Sclolarité et de la Recherche DAASR :
 AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (38)

| N° | NOMS ET PRÉNOMS | GRADE | OBSERVATIONS |
|----|--------------------------------|------------|---------------------|
| 1 | BIGOGA DAIGA Jude | Professeur | En poste |
| 2 | FEKAM BOYOM Fabrice | Professeur | En poste |
| 3 | FOKOU Elie | Professeur | En poste |
| 4 | KANSCI Germain | Professeur | En poste |
| 5 | MBACHAM FON Wilfried | Professeur | En poste |
| 6 | MOUNDIPA FEWOU Paul | Professeur | Chef de Département |
| 7 | NINTCHOM PENLAP V. épouse BENG | Professeur | En poste |
| 8 | OBEN Julius ENYONG | Professeur | En poste |

| | | | |
|----|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 9 | ACHU Merci BIH | Maître de Conférences | En poste |
| 10 | ATOGHO Barbara Mma | Maître de Conférences | En poste |
| 11 | AZANTSA KINGUE GABIN BORIS | Maître de Conférences | En poste |
| 12 | BELINGA née NDOYE FOE M. C. F. | Maître de Conférences | Chef DAF / FS |
| 13 | BOUDJEKO Thaddée | Maître de Conférences | En poste |
| 14 | DJUIDJE NGOUNOUE Marcelline | Maître de Conférences | En poste |
| 15 | EFFA NNOMO Pierre | Maître de Conférences | En poste |
| 16 | EWANE Cécile Anne | Maître de Conférences | En poste |
| 17 | MOFOR née TEUGWA Clotilde | Maître de Conférences | Inspecteur de Service MINESUP |
| 18 | NANA Louise épouse WAKAM | Maître de Conférences | En poste |
| 19 | NGONDI Judith Laure | Maître de Conférences | En poste |
| 20 | NGUEFACK Julienne | Maître de Conférences | En poste |
| 21 | NJAYOU Frédéric Nico | Maître de Conférences | En poste |
| 22 | TCHANA KOUATCHOUA Angèle | Maître de Conférences | En poste |

| | | | |
|----|--------------------------------|------------------|----------|
| 23 | AKINDEH MBUH NJI | Chargé de Cours | En poste |
| 24 | BEBEE Fadimatou | Chargée de Cours | En poste |
| 25 | BEBOY EDJENGUELE Sara Nathalie | Chargé de Cours | En poste |
| 25 | DAKOLE DABOY Charles | Chargé de Cours | En poste |
| 26 | DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane | Chargée de Cours | En poste |
| 27 | DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise | Chargé de Cours | En poste |
| 28 | FONKOUA Martin | Chargé de Cours | En poste |

| | | | |
|----|---------------------------|------------------|----------|
| 29 | KOTUE KAPTUE Charles | Chargé de Cours | En poste |
| 30 | LUNGA Paul KEILAH | Chargé de Cours | En poste |
| 31 | MANANGA Marlyse Joséphine | Chargée de Cours | En poste |
| 32 | MBONG ANGIE M. Mary Anne | Chargée de Cours | En poste |
| 33 | Palmer MASUMBE NETONGO | Chargé de Cours | En poste |
| 34 | PECHANGOU NSANGO Sylvain | Chargé de Cours | En poste |

| | | | |
|----|------------------------------------|------------|----------|
| 35 | MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle | Assistante | En poste |
| 36 | OWONA AYISSI Vincent Brice | Assistant | En poste |
| 37 | WILFRIED ANGIE Abia | Assistante | En poste |

2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (46)

| | | | |
|----|------------------------------|------------|--|
| 1 | AJEAGAH Gideon AGHAINDUM | Professeur | <i>DAARS/FS</i> |
| 2 | BILONG BILONG Charles-Félix | Professeur | Chef de Département |
| 3 | DIMO Théophile | Professeur | En Poste |
| 4 | DJIETO LORDON Champlain | Professeur | En Poste |
| 5 | DZEUFLET DJOMENI Paul Désiré | Professeur | En Poste |
| 6 | ESSOMBA née NTSAMA MBALA | Professeur | <i>Vice Doyen/FMSB/UIYI</i> |
| 7 | FOMENA Abraham | Professeur | En Poste |
| 8 | KAMTCHOUING Pierre | Professeur | En poste |
| 9 | KEKEUNOU Sévilor | Professeur | En poste |
| 10 | NJAMEN Dieudonné | Professeur | En poste |
| 11 | NJIOKOU Flobert | Professeur | En Poste |
| 12 | NOLA Moïse | Professeur | En poste |
| 13 | TAN Paul VERNYUY | Professeur | En poste |
| 14 | TCHUEM TCHUENTE Louis Albert | Professeur | <i>Inspecteur de service Coord.Progr./MINSANTE</i> |

| | | | |
|----|-----------------------------|------------|-----------------|
| 15 | ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert | Professeur | <i>En poste</i> |
|----|-----------------------------|------------|-----------------|

| | | | |
|----|---|-----------------------|----------|
| 16 | BILANDA Danielle Claude | Maître de Conférences | En poste |
| 17 | DJIOGUE Séfirin | Maître de Conférences | En poste |
| 18 | JATSA BOUKENG Hermine épouse MEGAPTCHE | Maître de Conférences | En Poste |
| 19 | LEKEUFACK FOLEFACK Guy B. | Maître de Conférences | En poste |
| 20 | MEGNEKOU Rosette | Maître de Conférences | En poste |
| 21 | MONY Ruth épouse NTONE | Maître de Conférences | En Poste |
| 22 | NGUEGUIM TSOFAK Florence | Maître de Conférences | En poste |
| 23 | TOMBI Jeannette | Maître de Conférences | En poste |

| | | | |
|----|-------------------------------|------------------|---------------|
| 24 | ALENE Désirée Chantal | Chargée de Cours | En poste |
| 25 | ATSAMO Albert Donatien | Chargé de Cours | En poste |
| 26 | BELLET EDIMO Oscar Roger | Chargé de Cours | En poste |
| 27 | DONFACK Mireille | Chargée de Cours | En poste |
| 28 | ETEME ENAMA Serge | Chargé de Cours | En poste |
| 29 | GOUNOUE KAMKUMO Raceline | Chargée de Cours | En poste |
| 30 | KANDEDA KAVAYE Antoine | Chargé de Cours | En poste |
| 31 | MAHOB Raymond Joseph | Chargé de Cours | En poste |
| 32 | MBENOUN MASSE Paul Serge | Chargé de Cours | En poste |
| 33 | MOUNGANG Luciane Marlyse | Chargée de Cours | En poste |
| 34 | MVEYO NDANKEU Yves Patrick | Chargé de Cours | En poste |
| 35 | NGOUATEU KENFACK Omer Bébé | Chargé de Cours | En poste |
| 36 | NGUEMBOK | Chargé de Cours | En poste |
| 37 | NJUA Clarisse Yafi | Chargée de Cours | Chef Div. UBA |
| 38 | NOAH EWOTI Olive Vivien | Chargée de Cours | En poste |
| 39 | TADU Zephyrin | Chargé de Cours | En poste |
| 40 | TAMSA ARFAO Antoine | Chargé de Cours | En poste |
| 41 | YEDE | Chargé de Cours | En poste |

| | | | |
|----|-------------------------------|------------|----------|
| 42 | BASSOCK BAYIHA Etienne Didier | Assistant | En poste |
| 43 | ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine | Assistante | En poste |
| 44 | KOGA MANG DOBARA | Assistant | En poste |
| 45 | LEME BANOCK Lucie | Assistante | En poste |
| 46 | YOUNOUSSA LAME | Assistant | En poste |

3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (33)

| | | | |
|---|--------------------------|------------|---------------------|
| 1 | AMBANG Zachée | Professeur | Chef Division/UYII |
| 2 | BELL Joseph Martin | Professeur | En poste |
| 3 | DJOCGOUE Pierre François | Professeur | En poste |
| 4 | MBOLO Marie | Professeur | En poste |
| 5 | MOSSEBO Dominique Claude | Professeur | En poste |
| 6 | YOUMBI Emmanuel | Professeur | Chef de Département |
| 7 | ZAPFACK Louis | Professeur | En poste |

| | | | |
|----|------------------------------|-----------------------|---------------------|
| 8 | ANGONI Hyacinthe | Maître de Conférences | En poste |
| 9 | BIYE Elvire Hortense | Maître de Conférences | En poste |
| 10 | KENGNE NOUMSI Ives Magloire | Maître de Conférences | En poste |
| 11 | MALA Armand William | Maître de Conférences | En poste |
| 12 | MBARGA BINDZI Marie Alain | Maître de Conférences | CT/ MINESUP |
| 13 | NDONGO BEKOLO | Maître de Conférences | <i>CE / MINRESI</i> |
| 14 | NGODO MELINGUI Jean Baptiste | Maître de Conférences | En poste |
| 15 | NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L. | Maître de Conférences | En poste |
| 16 | TONFACK Libert Brice | Maître de Conférences | En poste |
| 17 | TSOATA Esaïe | Maître de Conférences | En poste |
| 18 | DJEUANI Astride Carole | Chargé de Cours | En poste |
| 19 | GOMANDJE Christelle | Chargée de Cours | En poste |

| | | | |
|----|-----------------------------|------------------|----------|
| 20 | MAFFO MAFFO Nicole Liliane | Chargé de Cours | En poste |
| 21 | MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel | Chargé de Cours | En poste |
| 22 | NGALLE Hermine BILLE | Chargée de Cours | En poste |
| 23 | NGOUO Lucas Vincent | Chargé de Cours | En poste |
| 24 | NNANGA MEBENGA Ruth Laure | Chargé de Cours | En poste |
| 25 | NOUKEU KOUAKAM Armelle | Chargé de Cours | En poste |
| 26 | ONANA JEAN MICHEL | Chargé de Cours | En poste |

| | | | |
|----|--------------------------------------|-----------|----------|
| 27 | GODSWILL NTSOMBAH NTSEFONG | Assistant | En poste |
| 28 | KABELONG BANAHO Louis-Paul- Roger | Assistant | En poste |
| 29 | KONO Léon Dieudonné | Assistant | En poste |
| 30 | LIBALAH Moses BAKONCK | Assistant | En poste |
| 31 | LIKENG-LI-NGUE Benoit C | Assistant | En poste |
| 32 | TAEDOUNG Evariste Hermann | Assistant | En poste |
| 33 | TEMEGNE NONO Carine | Assistant | En poste |

4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (33)

| | | | |
|----|---------------------------------|------------|---------------------------------------|
| 1 | AGWARA ONDOH Moïse | Professeur | <i>Chef de Département</i> |
| 2 | DJOUFAC WOUMFO Emmanuel | Professeur | En poste |
| 3 | Florence UFI CHINJE épouse MELO | Professeur | <i>Recteur Univ.Ngaoundere</i> |
| 4 | GHOGOMU Paul MINGO | Professeur | <i>Ministre Chargé de Miss.PR</i> |
| 5 | NANSEU Njiki Charles Péguy | Professeur | En poste |
| 6 | NDIFON Peter TEKE | Professeur | <i>CT MINRESI</i> |
| 7 | NDIKONTAR Maurice KOR | Professeur | <i>Vice-Doyen Univ. Bamenda</i> |
| 8 | NENWA Justin | Professeur | En poste |
| 9 | NGAMENI Emmanuel | Professeur | <i>DOYEN FS UDs</i> |
| 10 | NGOMO Horace MANGA | Professeur | <i>Vice Chancellor/UB</i> |

| | | | |
|----|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 11 | ACAYANKA Elie | Maître de Conférences | En poste |
| 12 | BABALE née DJAM DOUDOU | Maître de Conférences | <i>Chargée Mission P.R.</i> |
| 13 | EMADACK Alphonse | Maître de Conférences | En poste |
| 14 | KAMGANG YOUNI Georges | Maître de Conférences | En poste |
| 15 | KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C. | Maître de Conférences | En poste |
| 16 | KONG SAKEO | Maître de Conférences | En poste |
| 17 | NDI NSAMI Julius | Maître de Conférences | En poste |
| 18 | NJOMOU C. épouse DJANGANG | Maître de Conférences | En poste |
| 19 | NJOYA Dayirou | Maître de Conférences | En poste |
| 20 | TCHAKOUTE KOUAMO Hervé | Maître de Conférences | En poste |

| | | | |
|----|--------------------------------|------------------|-----------------|
| 21 | BELIBI BELIBI Placide Désiré | Chargé de Cours | CS/ ENS Bertoua |
| 22 | CHEUMANI YONA Arnaud M. | Chargé de Cours | En poste |
| 23 | KENNE DEDZO GUSTAVE | Chargé de Cours | En poste |
| 24 | KOUOTOU DAOUDA | Chargé de Cours | En poste |
| 25 | MAKON Thomas Beauregard | Chargé de Cours | En poste |
| 26 | MBEY Jean Aime | Chargé de Cours | En poste |
| 27 | NCHIMI NONO KATIA | Chargé de Cours | En poste |
| 28 | NEBA nee NDOSIRI Bridget NDOYE | Chargée de Cours | CT/ MINFEM |
| 29 | NYAMEN Linda Dyorisse | Chargée de Cours | En poste |
| 30 | PABOUDAM GBAMBIE A. | Chargée de Cours | En poste |

| | | | |
|----|-------------------------|-----------|----------|
| 31 | NJANKWA NJABONG N. Eric | Assistant | En poste |
| 32 | PATOUOSSA ISSOFA | Assistant | En poste |
| 33 | SIEWE Jean Mermoz | Assistant | En Poste |

| 5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (34) | | | |
|--|-----------------------------|------------|---|
| 1 | DONGO Etienne | Professeur | Vice-Doyen/FSE/UIYI |
| 2 | GHOGOMU TIH Robert Ralph | Professeur | Dir. IBAF/UDA |
| 3 | NGOUELA Silvère Augustin | Professeur | Chef de Département UDS |
| 4 | NYASSE Barthélemy | Professeur | En poste |
| 5 | PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel | Professeur | <i>Directeur/</i> <i>MINESUP/</i> Chef de Département |
| 6 | WANDJI Jean | Professeur | En poste |

| | | | |
|----|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 7 | Alex de Théodore ATCHADE | Maître de Conférences | Vice-Doyen / DPSAA |
| 8 | AMBASSA Pantaléon | Maître de Conférences | En poste |
| 9 | EYONG Kenneth OBEN | Maître de Conférences | En poste |
| 10 | FOLEFOC Gabriel NGOSONG | Maître de Conférences | En poste |
| 11 | FOTSO WABO Ghislain | Maître de Conférences | En poste |
| 12 | KEUMEDJIO Félix | Maître de Conférences | En poste |
| 13 | KEUMOGNE Marguerite | Maître de Conférences | En poste |
| 14 | KOUAM Jacques | Maître de Conférences | En poste |
| 15 | MBAZOA née DJAMA Céline | Maître de Conférences | En poste |
| 16 | MKOUNGA Pierre | Maître de Conférences | En poste |
| 17 | MVOT AKAK CARINE | Maître de Conférences | En poste |
| 18 | NGO MBING Joséphine | Maître de Conférences | Sous/Direct. MINERESI |
| 19 | NGONO BIKOBO Dominique Serge | Maître de Conférences | C.E/ MINESUP |
| 20 | NOTE LOUGBOT Olivier Placide | Maître de Conférences | C.S/ MINESUP |

| | | | |
|----|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 21 | NOUNGOUE TCHAMO Diderot | Maître de Conférences | En poste |
| 22 | TABOPDA KUATE Turibio | Maître de Conférences | En poste |
| 23 | TAGATSING FOTSING Maurice | Maître de Conférences | En poste |
| 24 | TCHOUANKEU Jean-Claude | Maître de Conférences | <i>Doyen /FS/ UYI</i> |
| 25 | TIH née NGO BILONG E. Anastasie | Maître de Conférences | En poste |
| 26 | YANKEP Emmanuel | Maître de Conférences | En poste |
| 27 | ZONDEGOUMBA Ernestine | Maître de Conférences | En poste |

| | | | |
|----|---------------------------|------------------|----------|
| 28 | KAMTO Eutrophe Le Doux | Chargé de Cours | En poste |
| 29 | NGNINTEDO Dominique | Chargé de Cours | En poste |
| 30 | NGOMO Orléans | Chargée de Cours | En poste |
| 31 | OUAHOUE WACHE Blandine M. | Chargée de Cours | En poste |
| 32 | SIELINOUE TEDJON Valérie | Chargé de Cours | En poste |

| | | | |
|----|-------------------------|-----------|----------|
| 33 | MESSI Angélique Nicolas | Assistant | En poste |
| 34 | TSEMEUGNE Joseph | Assistant | En poste |

6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (25)

| | | | |
|---|-----------------------------|------------|--------------------------------------|
| 1 | ATSA ETOUNDI Roger | Professeur | <i>Chef Div.MINESUP</i> |
| 2 | FOUDA NDJODO Marcel Laurent | Professeur | <i>Chef Dpt ENS/Chef IGA.MINESUP</i> |

| | | | |
|---|---------------|-----------------------|----------|
| 3 | NDOUNDAM René | Maître de Conférences | En poste |
|---|---------------|-----------------------|----------|

| | | | |
|----|--------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| 4 | ABESSOLO ALO'O Gislain | Chargé de Cours | En poste |
| 5 | AMINOOU Halidou | Chargé de Cours | <i>Chef de Département</i> |
| 6 | DJAM Xaviera YOUH - KIMBI | Chargé de Cours | En Poste |
| 7 | DOMGA KOMGUEM Rodrigue | Chargé de Cours | En poste |
| 8 | EBELE Serge Alain | Chargé de Cours | En poste |
| 9 | KOUOKAM KOUOKAM E. A. | Chargé de Cours | En poste |
| 10 | MELATAGIA YONTA Paulin | Chargé de Cours | En poste |
| 11 | MONTHE DJIADEU Valery M. | Chargé de Cours | En poste |
| 12 | MOTO MPONG Serge Alain | Chargé de Cours | En poste |
| 13 | OLLE OLLE Daniel Claude Delort | Chargé de Cours | Directeur adjoint Enset. Ebolowa |
| 14 | TAPAMO Hyppolite | Chargé de Cours | En poste |
| 15 | TINDO Gilbert | Chargé de Cours | En poste |
| 16 | TSOPZE Norbert | Chargé de Cours | En poste |
| 17 | WAKU KOUAMOU Jules | Chargé de Cours | En poste |

| | | | |
|----|-------------------------------|------------|----------|
| 18 | BAYEM Jacques Narcisse | Assistant | En poste |
| 19 | EKODECK Stéphane Gaël Raymond | Assistant | En poste |
| 20 | HAMZA Adamou | Assistant | En poste |
| 21 | JIOMEKONG AZANZI Fidel | Assistant | En poste |
| 22 | MAKEMBE. S . Oswald | Assistant | En poste |
| 23 | MESSI NGUELE Thomas | Assistant | En poste |
| 24 | MEYEMDOU Nadège Sylvianne | Assistante | En poste |
| 25 | NKONDOCK. MI. BAHANACK.N. | Assistant | En poste |

7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (30)

| | | | |
|---|-----------------------|------------|-------------------------------|
| 1 | AYISSI Raoult Domingo | Professeur | Chef de Département |
| 2 | EMVUDU WONO Yves S. | Professeur | <i>Inspecteur MINESUP</i> |

| | | | |
|----|----------------------------|-----------------------|---|
| 3 | KIANPI Maurice | Maître de Conférences | En poste |
| 4 | MBANG Joseph | Maître de Conférences | En poste |
| 5 | MBEHOU Mohamed | Maître de Conférences | En poste |
| 6 | MBELE BIDIMA Martin Ledoux | Maître de Conférences | En poste |
| 7 | NKUIMI JUGNIA Célestin | Maître de Conférences | En poste |
| 8 | NOUNDJEU Pierre | Maître de Conférences | <i>Chef service des programmes & Diplômes/FS/UIYI</i> |
| 9 | TCHAPNDA NJABO Sophonie B. | Maître de Conférences | Directeur/AIMS Rwanda |
| 10 | TCHOUNDJA Edgar Landry | Maître de Conférences | En poste |

| | | | |
|----|-------------------------------|------------------|---------------------------|
| 11 | AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard | Chargé de Cours | Chef Cellule MINPLAMAT |
| 12 | CHENDJOU Gilbert | Chargé de Cours | En poste |
| 13 | DJIADEU NGAHA Michel | Chargé de Cours | En poste |
| 14 | DOUANLA YONTA Herman | Chargé de Cours | En poste |
| 15 | FOMEKONG Christophe | Chargé de Cours | En poste |
| 16 | KIKI Maxime Armand | Chargé de Cours | En poste |
| 17 | MBAKOP Guy Merlin | Chargé de Cours | En poste |
| 18 | MENGUE MENGUE David Joe | Chargé de Cours | En poste |
| 19 | NGUEFACK Bernard | Chargé de Cours | En poste |
| 20 | NIMPA PEFOUKEU Romain | Chargée de Cours | En poste |

| | | | |
|----|----------------------------|------------------|----------|
| 21 | POLA DOUNDOU Emmanuel | Chargé de Cours | En poste |
| 22 | TAKAM SOH Patrice | Chargé de Cours | En poste |
| 23 | TCHANGANG Roger Duclos | Chargé de Cours | En poste |
| 24 | TETSADJIO TCHILEPECK M. E. | Chargé de Cours | En poste |
| 25 | TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie | Chargée de Cours | En poste |

| | | | |
|----|------------------------------|------------|----------|
| 26 | BITYE MVONDO Esther Claudine | Assistante | En poste |
| 27 | MBATAKOU Salomon Joseph | Assistant | En poste |
| 28 | MBIAKOP Hilaire George | Assistant | En poste |
| 29 | MEFENZA NOUNTU Thiery | Assistant | En poste |
| 30 | TCHEUTIA Daniel Duviol | Assistant | En poste |

8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (18)

| | | | |
|---|-------------------------------|------------|----------------------------|
| 1 | ESSIA NGANG Jean Justin | Professeur | <i>Chef de Département</i> |
| 2 | NYEGUE Maximilienne Ascension | Professeur | <i>VICE-DOYEN / DSSE</i> |
| 3 | NWAGA Dieudonné M. | Professeur | En poste |

| | | | |
|---|---------------------------|-----------------------|----------|
| 4 | ASSAM ASSAM Jean Paul | Maître de Conférences | En poste |
| 5 | BOYOMO ONANA | Maître de Conférences | En poste |
| 6 | RIWOM Sara Honorine | Maître de Conférences | En poste |
| 7 | SADO KAMDEM Sylvain Leroy | Maître de Conférences | En poste |

| | | | |
|---|-----------------------|-----------------|----------|
| 8 | BODA Maurice | Chargé de Cours | En poste |
| 9 | BOUGNOM Blaise Pascal | Chargé de Cours | En poste |

| | | | |
|----|-----------------------------|------------------|----------|
| 10 | ESSONO OBOUGOU Germain G. | Chargé de Cours | En poste |
| 11 | NJIKI BIKOÏ Jacky | Chargée de Cours | En poste |
| 12 | TCHIKOUA Roger | Chargé de Cours | En poste |
| | | | |
| 13 | ESSONO Damien Marie | Assistant | En poste |
| 14 | LAMYE Glory MOH | Assistant | En poste |
| 15 | MEYIN A EBONG Solange | Assistante | En poste |
| 16 | NKOUDOU ZE Nardis | Assistant | En poste |
| 17 | SAKE NGANE Carole Stéphanie | Assistante | En poste |
| 18 | TOBOLBAÏ Richard | Assistant | En poste |

| |
|--|
| 9. DEPARTEMENT DE PYSIQUE(PHY) (40) |
|--|

| | | | |
|----|------------------------------|------------|-------------------------|
| 1 | BEN- BOLIE Germain Hubert | Professeur | En poste |
| 2 | DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM | Professeur | En poste |
| 3 | EKOBENA FOU DA Henri Paul | Professeur | <i>Vice-Recteur. UN</i> |
| 4 | ESSIMBI ZOBO Bernard | Professeur | En poste |
| 5 | KOFANE Timoléon Crépin | Professeur | En poste |
| 6 | NANA ENGO Serge Guy | Professeur | En poste |
| 7 | NANA NBENDJO Blaise | Professeur | En poste |
| 8 | NDJAKA Jean Marie Bienvenu | Professeur | Chef de Département |
| 9 | NJANDJOCK NOUCK Philippe | Professeur | En poste |
| 10 | NOUAYOU Robert | Professeur | En poste |
| 11 | PEMHA Elkana | Professeur | En poste |
| 12 | TABOD Charles TABOD | Professeur | Doyen FS Univ/Bda |
| 13 | TCHAWOUA Clément | Professeur | En poste |
| 14 | WOAFO Paul | Professeur | En poste |
| 15 | ZEKENG Serge Sylvain | Professeur | En poste |

| | | | |
|----|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 16 | BIYA MOTTO Frédéric | Maître de Conférences | DG/HYDRO Mekin |
| 17 | BODO Bertrand | Maître de Conférences | En poste |
| 18 | ENYEGUE A NYAM épouse BELINGA | Maître de Conférences | En poste |
| 19 | EYEBE FOU DA Jean sire | Maître de Conférences | En poste |
| 20 | FEWO Serge Ibraïd | Maître de Conférences | En poste |
| 21 | HONA Jacques | Maître de Conférences | En poste |
| 22 | MBANE BIOUELE César | Maître de Conférences | En poste |
| 23 | MBINACK Clément | Maître de Conférences | En poste |
| 24 | NDOP Joseph | Maître de Conférences | En poste |
| 25 | SAIDOU | Maître de Conférences | MINRESI |
| 26 | SIEWE SIEWE Martin | Maître de Conférences | En poste |
| 27 | SIMO Elie | Maître de Conférences | En poste |
| 28 | VONDOU Derbetini Appolinaire | Maître de Conférences | En poste |
| 29 | WAKATA née BEYA Annie | Maître de Conférences | <i>Directeur/ENS/UJI</i> |

| | | | |
|----|-------------------------------|------------------|----------------------------------|
| 30 | ABDOURAHIMI | Chargé de Cours | En poste |
| 31 | CHAMANI Roméo | Chargé de Cours | En poste |
| 32 | EDONGUE HERVAIS | Chargé de Cours | En poste |
| 33 | FOUEDJIO David | Chargé de Cours | Chef Cell. MINADER |
| 34 | MBONO SAMBA Yves Christian U. | Chargé de Cours | En poste |
| 35 | MELI'I Joelle Larissa | Chargée de Cours | En poste |
| 36 | MVOGO ALAIN | Chargé de Cours | En poste |
| 37 | OBOUNOU Marcel | Chargé de Cours | DA/Univ Inter Etat/Sangmalima |
| 38 | WOULACHE Rosalie Laure | Chargée de Cours | En poste |

| | | | |
|----|-----------------------------------|-----------|----------|
| 39 | AYISSI EYEBE Guy François Valérie | Assistant | En poste |
| 40 | TEYOU NGOUPOU Ariel | Assistant | En poste |

10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (43)

| | | | |
|---|----------------------------|------------|---------------------------|
| 1 | BITOM Dieudonné | Professeur | <i>Doyen / FASA / UDs</i> |
| 2 | FOUATEU Rose épouse YONGUE | Professeur | En poste |
| 3 | NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy | Professeur | En poste |
| 4 | NDJIGUI Paul Désiré | Professeur | Chef de Département |
| 5 | NGOS III Simon | Professeur | En poste |
| 6 | NKOUMBOU Charles | Professeur | En poste |
| 7 | NZENTI Jean-Paul | Professeur | En poste |

| | | | |
|----|----------------------------|-----------------------|--|
| 8 | ABOSSOLO née ANGUE Monique | Maître de Conférences | <i>Vice-Doyen / DRC</i> |
| 9 | BISSO Dieudonné | Maître de Conférences | <i>Directeur/Projet Barrage Memve'ele</i> |
| 10 | EKOMANE Emile | Maître de Conférences | En poste |
| 11 | GANNO Sylvestre | Maître de Conférences | En poste |
| 12 | GHOGOMU Richard TANWI | Maître de Conférences | CD/Uma |
| 13 | MOUNDI Amidou | Maître de Conférences | <i>CT/ MINIMDT</i> |
| 14 | NGUEUTCHOUA Gabriel | Maître de Conférences | CEA/MINRESI |
| 15 | NJILAH Isaac KONFOR | Maître de Conférences | En poste |
| 16 | NYECK Bruno | Maître de Conférences | En poste |
| 17 | ONANA Vincent Laurent | Maître de Conférences | <i>Chef service Maintenance & du Matériel/UYII</i> |

| | | | |
|----|------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 18 | TCHAKOUNTE J. épouse NOUMBEM | Maître de Conférences | <i>Chef.cell / MINRESI</i> |
| 19 | TCHOUANKOUE Jean-Pierre | Maître de Conférences | En poste |
| 20 | TEMDJIM Robert | Maître de Conférences | En poste |
| 21 | YENE ATANGANA Joseph Q. | Maître de Conférences | <i>Chef Div. /MINTP</i> |
| 22 | ZO'O ZAME Philémon | Maître de Conférences | <i>DG/ART</i> |

| | | | |
|----|-------------------------------|------------------|----------------------------|
| 23 | ANABA ONANA Achille Basile | Chargé de Cours | En poste |
| 24 | BEKOA Etienne | Chargé de Cours | En poste |
| 25 | ELISE SABABA | Chargé de Cours | En poste |
| 26 | ESSONO Jean | Chargé de Cours | En poste |
| 27 | EYONG JOHN TAKEM | Chargé de Cours | En poste |
| 28 | FUH Calistus Gentry | Chargé de Cours | <i>Sec. D'Etat/MINMIDT</i> |
| 29 | LAMILEN BILLA Daniel | Chargé de Cours | En poste |
| 30 | MBESSE CECILE OLIVE | Chargée de Cours | En poste |
| 31 | MBIDA YEM | Chargé de Cours | En poste |
| 32 | METANG Victor | Chargé de Cours | En poste |
| 33 | MINYEM Dieudonné-Lucien | Chargé de Cours | <i>CD/Uma</i> |
| 34 | NGO BELNOUN Rose Noël | Chargée de Cours | En poste |
| 35 | NGO BIDJECK Louise Marie | Chargée de Cours | En poste |
| 36 | NOMO NEGUE Emmanuel | Chargé de Cours | En poste |
| 37 | NTSAMA ATANGANA Jacqueline | Chargé de Cours | En poste |
| 38 | TCHAPTCHET TCHATO De P. | Chargé de Cours | En poste |
| 39 | TEHNA Nathanaël | Chargé de Cours | En poste |

| | | | |
|----|-------------------|-----------------|----------|
| 40 | TEMGA Jean Pierre | Chargé de Cours | En poste |
|----|-------------------|-----------------|----------|

| | | | |
|----|--------------------|-----------|----------|
| 41 | FEUMBA Roger | Assistant | En poste |
| 42 | MBANGA NYOBE Jules | Assistant | En poste |

Répartition chiffrée des Enseignants de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I

NOMBRE D'ENSEIGNANTS

| DÉPARTEMENT | Professeurs | Maîtres de Conférences | Chargés de Cours | Assistants | Total |
|--------------|---------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|
| BCH | 8 (01) | 14 (10) | 13 (05) | 3 (02) | 38 (18) |
| BPA | 15 (01) | 8 (06) | 18 (05) | 05 (02) | 46 (14) |
| BPV | 07 (01) | 10 (01) | 9 (06) | 07 (01) | 33 (9) |
| CI | 10 (01) | 10 (02) | 10 (02) | 03 (0) | 33 (5) |
| CO | 6 (0) | 21 (05) | 05 (02) | 02 (0) | 34(7) |
| IN | 2 (0) | 1 (0) | 14 (01) | 08 (01) | 25 (2) |
| MAT | 2 (0) | 8 (0) | 15 (01) | 05 (02) | 30 (3) |
| MIB | 3 (0) | 4 (02) | 05 (01) | 06 (02) | 18 (5) |
| PHY | 15 (0) | 14 (02) | 09 (03) | 02 (0) | 40 (5) |
| ST | 7 (1) | 15 (01) | 18 (05) | 02 (0) | 42(7) |
| Total | 75 (5) | 105 (29) | 116 (31) | 43 (10) | 339 (75) |

Soit un total de **339 (75)** dont :

- Professeurs **75 (5)**
- Maîtres de Conférences **105 (29)**
- Chargés de Cours **116 (31)**
- Assistants **43 (10)**

() = Nombre de Femmes **75**

DEDICACE

Je dédie ce travail à:

Ma feuie mère : NKOUEN Gèneviève;

Ma tante : YIDAOU Honorine ;

Mon époux: DONGMO Jean-Bernard

Mes enfants: DONGMO Daniel et DONGMO EYENGA Favour

REMERCIEMENTS

- **Tout d’abord, je remercie Dieu, Le Tout Puissant** qui a permis que ce travail soit réalisé.
- **Je souhaiterais également exprimer ma gratitude aux personnes dont le soutien a été remarquable :**
- **Au Professeur MBACHAM Wilfred**, Responsable du Laboratoire de Sécurité Sanitaire des Aliments (Centre de Biotechnologie de Nkolbisson, Université de Yaoundé I), Superviseur de mes travaux de thèse qui m’a fait confiance en acceptant de superviser et diriger cette thèse. Sa rigueur scientifique, ses orientations et conseils ont permis la réalisation de ce travail. Veuillez trouver, Professeur, dans ces mots, l’expression de mes sincères et vifs remerciements, et de mon profond respect.
- **Au Dr. NDINDENG Sali ATANGA**, Maître de Recherche à l’Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) et Responsable du projet CIDA, qui a su me témoigner du début à la fin de cette thèse sa confiance en me proposant ce sujet certes difficile mais passionnant. Il a dirigé et suivi de très près ce travail de recherche malgré ses diverses occupations. Merci pour vos conseils, votre expertise, de me donner une direction technique en cas de besoin.
- J’adresse de chaleureux remerciements à mon co-encadrant de thèse, **Pr. ACHU Mercy BIH épouse LOH**, Maître de Conférences au Département de Biochimie de la Faculté des Sciences à l’Université de Yaoundé I, pour son attention à tout instant sur mes travaux, pour ses conseils avisés et son écoute. J’ai pris un grand plaisir à travailler avec vous Professeur.
- Durant ce cycle doctoral, j’ai eu l’opportunité d’être accueilli au CIRAD (Montpellier France) par le **Dr BOULANGER Renaud** pour réaliser des analyses physiques et physicochimiques du safou et des biscuits. Je garde un très bon souvenir de ces personnes dotées d’un grand dévouement et d’une gentillesse inouïe.
- J’exprime mes sincères remerciements au **Pr OBEN Julius ENYONG**, Responsable du Laboratoire de Nutrition et de Biochimie Nutritionnelle qui m’a accueilli dans ce laboratoire.
- **Au Professeur MBANYA Jean-Claude**, Directeur du Centre de Biotechnologie, qui m’a donné l’opportunité de mener à bien ma thèse dans ce prestigieux centre de recherche de l’Université de Yaoundé I. Je vous en remercie.
- **Au Professeur MOUNDIPA FEWOU Paul, Chef de Département de Biochimie**, à qui j’adresse mes remerciements, sans oublier le personnel du Département de Biochimie de

l'Université de Yaoundé I pour leur assistance, leurs conseils et leur disponibilité tout au long de cette thèse.

- J'exprime ma profonde gratitude à **tous les enseignants du Département de Biochimie** pour l'assistance et les conseils me permettant de mener des recherches qui ont abouti aux résultats présentés dans cette thèse
- Au **Dr MOUAFO T. Hippolyte**, Chargé de Recherches à l'IMPM, merci pour l'aide et les conseils précieux vous m'avez gratifié tout au long de ce travail.
- J'exprime ma profonde gratitude à **l'Institut de Recherche Agricoles pour le Développement (IRAD)** pour l'assistance et les fournitures d'installations permettant de mener des recherches qui ont abouti aux résultats présentés dans cette thèse.
- Ma gratitude est également adressé au **Dr. NGOME Francis** Merci pour vos précieux commentaires sur mon travail. Merci pour l'intérêt que vous portez à mon projet et à mes progrès.
- Je souhaite aussi témoigner ma reconnaissance **aux Enseignants et Étudiants** des différents Laboratoires du Centre de Biotechnologie de l'Université de Yaoundé I pour leurs supports, commentaires utiles sur mes recherches et le temps que nous avons passé ensemble.
- Je souhaite aussi témoigner ma reconnaissance **aux Enseignants et Étudiants** du Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme (LabSAM) de l'Université de Yaoundé I, recevez toute ma gratitude pour le temps consenti lors des séminaires de laboratoire à faire de ce travail une contribution scientifique.
- Je souhaite aussi témoigner ma reconnaissance **aux Enseignants** des différents Laboratoires biochimie de l'Université de Yaoundé I pour leurs supports, commentaires utiles sur mes recherches.
- **À tous mes collègues** de l'Institut de Recherche Agricoles pour le Développement (IRAD), Merci à tous pour votre collaboration et votre soutien moral.
- Plus important encore, je souhaite exprimer ma plus profonde gratitude à mon cher époux et confident, **M. DONGMO Jean-Bernard**, pour son soutien quotidien indéfectible et son enthousiasme contagieux à l'égard de mes travaux comme de la vie en général. Merci d'être là quand j'avais besoin de parler à quelqu'un.
- À mes enfants **DONGMO Daniel** et **DONGMO favour** j'exprime mes remerciements pour leur amour inconditionnel malgré mes occupations académiques et professionnelles.
- Ma profonde gratitude va aussi à l'endroit de **la grande famille EYENGA** pour vos encouragements et votre soutien. Merci à tous.

- Je souhaite adresser mes remerciements à toutes les autres personnes que je n'ai pas mentionnées individuellement ici. Je vous serai reconnaissante à jamais. Tout cela ne serait jamais passé sans que vous soyez là.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|--------|
| DEDICACE | xx |
| REMERCIEMENTS | xxi |
| TABLE DES MATIERES | xxiv |
| LISTE DES TABLEAUX..... | xxx |
| LISTE DES FIGURES | xxxii |
| LISTE DES ANNEXES..... | xxxiii |
| LISTE DES PHOTOS | xxxiii |
| LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES | xxxiv |
| RÉSUMÉ | xxxv |
| ABSTRACT..... | xxxvi |
| INTRODUCTION | 1 |
| CHAPITRE I: REVUE DE LA LITTERATURE..... | 7 |
| I.1. GÉNÉRALITÉS SUR LE RIZ | 8 |
| I .1.1. Production du riz..... | 8 |
| I .1.2. Traitement post récolte du riz | 9 |
| I .1.3. Classification du riz..... | 11 |
| I .1.4. Valeur nutritionnelle du riz blanc | 12 |
| I .1.5. Farine de riz | 13 |
| I .1.6. Farines composites | 14 |
| I.2. GÉNÉRALITÉS SUR LE SAFOU | 15 |
| I.2.1. Description botanique et utilisations du safou..... | 15 |
| I.2.2. Fruits de <i>Dacryodes edulis</i> | 16 |
| I.2.3. Composition nutritionnelle de <i>Dacryodes edulis</i> | 17 |
| I.2.4. Traitement après récolte | 18 |
| I.2.5. Usages du fruit de <i>Dacryodes edulis</i> | 19 |
| I.2.6. Importance économique | 19 |

| | |
|---|----|
| I.3. GÉNÉRALITÉS SUR LE BISCUIT..... | 20 |
| I.3.1. Biscuit..... | 20 |
| I.3.2. Classifications des biscuits | 20 |
| I.3.3. Rôles des principaux ingrédients | 21 |
| a) Farine de blé..... | 21 |
| b) Matière grasse | 22 |
| c) Sucre | 22 |
| I.3.4. Pâte biscuitière..... | 23 |
| I.3.5. Cuisson des biscuits | 24 |
| I.3.6. Critères de qualité d'un biscuit | 25 |
| I.3.7. Conservation des biscuits | 26 |
| I.4. RÉACTIONS BIOCHIMIQUES | 26 |
| I.4.1. Réaction de Maillard | 27 |
| I.4.2. Réaction de l'oxydation..... | 31 |
| a) Mécanisme des réactions d'oxydation..... | 31 |
| b) Auto-oxydation | 32 |
| c) Facteurs influençant l'oxydation des lipides..... | 34 |
| d) Produits formés au cours de l'oxydation des lipides..... | 34 |
| 1.5.GÉNÉRALITÉ SUR LES PLANS D'EXPERIENCES | 35 |
| 1.5.1. Définition d'un plan d'expérience | 35 |
| 1.5.2. Quelques terminologies..... | 35 |
| 1.5.3. Intérêts des plans d'expérience..... | 36 |
| 1.5.4. Typologie des plans d'expériences | 36 |
| 1.5.5. Méthodologie des surfaces de réponse (MSR)..... | 37 |
| 1.5.6. Le plan de Doehlert..... | 37 |
| 1.5.7. Modélisation | 38 |
| 1.5.8. Validation des modèles | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 1.6. ANALYSE CRITIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS | 38 |
| CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODEEERIEL ET METHODES | 40 |
| II.1. Collecte et traitement des échantillons..... | 40 |
| II.1.1. Collecte et traitement des fruits du safou | 43 |
| II.1.2. Collecte et traitement du riz..... | 44 |
| II.1.2.1. Production de la farine de riz | 44 |
| II.2. Formulation des biscuits à base de la farine de riz et de la poudre du safou acide | 45 |
| II.2.1. Autres ingrédients..... | 45 |
| II.2.2. Préparation de la première formulation | 46 |
| II.3. Modélisation et prédiction de la formulation des biscuits de riz au safou. | 46 |
| II.3.1. Choix du plan d'expérience | 46 |
| II.3.2. Variables et domaine de variation..... | 46 |
| II.3.3. Réponses mesurées..... | 47 |
| II.3.4. Validation des modèles..... | 48 |
| II.3.5. Optimisation multiréponse..... | 48 |
| II.3.6. Désirabilité..... | 48 |
| II.4. Détermination des caractéristiques physicochimiques de la poudre de safou et leurs huiles..... | 49 |
| II.4.1. Détermination des propriétés physiques des poudres de safou acide | 49 |
| II.4.1.1. Détermination du pH..... | 49 |
| II.4.1.2 Mesure de la couleur | 49 |
| II.4.2. Détermination de la valeur nutritive des poudres de safou acide et non acide | 50 |
| II.4.2.1. Détermination de la teneur en eau..... | 50 |
| II.4.2. 2.Détermination de la teneur en lipides totaux | 50 |
| II.4.2.3. Détermination de la teneur en sucres totaux..... | 51 |
| II.4.2.4. Détermination des fibres brutes | 52 |
| II.4.2.5. Détermination de la teneur en protéines brutes..... | 53 |

| | |
|---|----|
| II.4.2.6. Détermination de la valeur énergétique..... | 55 |
| II.4.2.7. Détermination des acides aminés essentiels et non essentiels | 55 |
| II.4.2.8. Détermination de la teneur en minéraux : Teneurs en calcium, magnésium, potassium, sodium, cuivre, fer, manganèse, zinc et aluminium..... | 56 |
| II.4.2.8.1. Traitement des échantillons. | 56 |
| II.4.2.8.1.1. Analyse du Calcium et du Magnésium..... | 57 |
| II.4.2.8.1.2. Analyse du Phosphore. | 57 |
| II.4.2.8.1.3. Analyse du potassium et du sodium. | 57 |
| II.4.2.8.1.4. Analyse du Fer, du Cuivre, du Zinc, du Manganèse et de l'Aluminium..... | 58 |
| II.4.2.9. Détermination de la concentration en vitamine C..... | 58 |
| II.4.3. Détermination de la qualité des huiles des poudres de safou acide, non acide et des biscuits..... | 60 |
| II.4.3.1. Extraction à froid des huiles | 60 |
| II.4.3.2. Détermination de l'indice d'acide..... | 60 |
| II.4.3.3. Détermination de l'indice de saponification..... | 61 |
| II.4.3.4. Calcul du degré de pureté | 62 |
| II.4.3.5. Détermination de l'indice d'iode | 63 |
| II.4.4. Détermination des caractéristiques physiques, sensorielles et la valeur nutritionnelle des biscuits | 64 |
| II.4.4.1. Les types de biscuits | 64 |
| II.4.4.2. Paramètres physiques des biscuits | 66 |
| II.4.4.2.1. Mesure de la couleur | 66 |
| II.4.4.2.2. Granulométrie | 66 |
| II.4.4.2.3. Dureté | 66 |
| II.4.4.3. Analyse sensorielle | 67 |
| II.4.4.3.2. Modalités et déroulement de l'épreuve..... | 67 |
| II.4.4.4. Détermination de la valeur nutritive des biscuits..... | 67 |
| II.5. Stabilité des biscuits dans les emballages polypropylène et aluminium | 68 |

| | |
|---|-----------|
| II.5.1. Humidité | 68 |
| II.5.2. Indice de peroxyde | 69 |
| II.5.3. Dosage du malondiadehyde | 70 |
| II.6. Analyse statistique | 70 |
| CHAPITRE III: RÉSULTATS | 71 |
| III. 1. Optimisation des paramètres sensoriels des biscuits | 72 |
| III.1.1. Proposition et validation des modèles | 74 |
| III.1.1.1. Proposition des modèles | 74 |
| III.1.1.2. Validation des modèles proposés..... | 75 |
| 1. Granulométrie..... | 75 |
| 2. Caractère fondant..... | 76 |
| 3. Croustillance | 76 |
| 4. Dureté..... | 76 |
| 5. Arôme | 76 |
| 6. Qualité globale | 76 |
| III.1.1.3. Effet des facteurs sur la qualité organoleptique des biscuits..... | 81 |
| III. 1.1.3.a) Effets des facteurs sur la granulométrie des biscuits | 81 |
| III. 1.1.3.b) Effets des facteurs sur la caractère fondant des biscuits | 81 |
| III. 1.1.3.c) Effets des facteurs sur la croustillance. | 81 |
| III. 1.1.3.d) Effet des facteurs sur la forme des biscuits..... | 81 |
| III. 1.1.3.e) Effet des facteurs sur la dureté des biscuits..... | 83 |
| III. 1.1.3.f) Effet des facteurs sur l'arôme des biscuits..... | 83 |
| III. 1.1.3.g) Effet des facteurs sur la qualité globale des biscuits | 83 |
| III. 1.1.4. Conditions optimales de production des biscuits..... | 85 |
| III. 1.1.5. Optimisation multi réponses..... | 85 |
| III.2. Analyse physicochimique des poudres de safous acide et non acide | 88 |
| III. 2.1. Analyse physique de la poudre de safou acide et non acide | 88 |

| | |
|--|------------|
| III. 2.2. Composition nutritionnelle des poudres de safou acide et non acide..... | 89 |
| III. 2.3. Détermination de la qualité des huiles des poudres de safou acide, non acide et des biscuits | 92 |
| III.3. Analyse physique, sensorielle et nutritionnelle des biscuits | 93 |
| III. 3.1. Analyse physique des biscuits..... | 93 |
| III. 3.2. Analyse sensorielle | 95 |
| III. 3.3. Composition nutritionnelle des biscuits | 99 |
| III. 4. Stabilité des biscuits dans les emballages polypropylène et aluminium..... | 104 |
| III. 4.1. Dureté..... | 104 |
| III. 4.2. Couleur | 105 |
| III. 4.3. L'humidité | 107 |
| III. 4.4. L'indice de peroxyde | 108 |
| III.4.5. Malondialdéhydes..... | 109 |
| CHAPITRE IV: DISCUSSION- CONCLUSION ET PERSPECTIVES | 110 |
| IV. DISCUSSION | 112 |
| IV.1. Optimisation des paramètres sensorielles | 112 |
| IV.2. Analyse physicochimique de la poudre safous acide et non acide..... | 115 |
| IV.3. Détermination de la qualité des huiles des poudres de safou acide, non acide et des biscuits | 116 |
| IV. 4. Analyse physique, sensorielle et la valeur nutritionnelle des biscuits..... | 117 |
| IV. 5. Stabilité des biscuits dans les emballages polypropylène et aluminium..... | 123 |
| CONCLUSION..... | 127 |
| PERSPECTIVES..... | 129 |
| REFERENCES | 131 |
| ANNEXES | 159 |
| LISTE DES ARTICLES | 167 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| Tableau 1: Classification du riz selon la longueur du grain et le rapport de la longueur et de la largeur | 12 |
| Tableau 2: Classification du riz selon sa forme | 12 |
| Tableau 3: Principaux constituants biochimiques du riz blanchi en g pour 100g de matière sèche | 13 |
| Tableau 4: Principaux constituants biochimiques de la farine de riz en g pour 100g de matière sèche. | 14 |
| Tableau 5: Composition nutritionnelle de la pulpe de safou | 18 |
| Tableau 6: Différents types des plans d'expériences | 37 |
| Tableau 7: Facteurs et domaine de variation | 47 |
| Tableau 8: Paramètres de validation des modèles | 48 |
| Tableau 9: Proportions des ingrédients utilisés pour produire les biscuits. | 65 |
| Tableau 10: Effets des facteurs sur la granulométrie, le caractère fondant, la forme, la croustillance, la dureté, l'arôme et la qualité globale des biscuits | 73 |
| Tableau 11: Variance, coefficient de détermination, facteur de biais, facteur de biais polarisé, et analyse absolue de déviation moyenne des réponses mesurées pour la production des biscuits à base de farine de safou | 77 |
| Tableau 12: (suite)..... | 78 |
| Tableau 13: (suite)..... | 79 |
| Tableau 14: (suite et fin)..... | 80 |
| Tableau 15: Conditions optimales de production des biscuits..... | 85 |
| Tableau 16: Valeurs prédites et expérimentales des réponses obtenues dans les conditions optimales de production des biscuits..... | 88 |
| Tableau 17: La variation de la couleur(L*, a*, b*) et du pH du safou acide et non acide..... | 89 |
| Tableau 18: La composition proximale de la poudre de safou acide et non acide,..... | 89 |
| Tableau 19: Teneur en acide aminés des safou acide et non acide | 91 |
| Tableau 20: La teneur en minéraux des safous acide et non acide | 91 |
| Tableau 21: La teneur en vitamine C du safou acide, non acide et des biscuits..... | 92 |
| Tableau 22: Détermination de la qualité des huiles des poudres de safou acide, non acide et des biscuits | 93 |
| Tableau 23: Détermination de la distribution granulométrique des biscuits (RB-100) sablé, légèrement sablé et non-sablé (fin) | 93 |
| Tableau 24: Détermination de la texture des biscuits (RB-100) sablé, légèrement sablé et non-sablé (fin) | 94 |
| Tableau 25: La composition proximale du biscuit optimisé, des biscuits de riz-blé et des biscuits enrichis au safou acide et non acide | 101 |
| Tableau 26: Teneur en acide aminé des biscuits de riz-blé et des biscuits enrichis au safou acide et non acide | 101 |
| Tableau 27: La teneur en minéraux du biscuit optimisé, des biscuit de riz-blé et des biscuits de riz-blé enrichis au safou | 102 |
| Tableau 28: Evolution de la dureté des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps | 104 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 29: Evolution de la couleur (L*, a*, b*) des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps. | 105 |
| Tableau 30: Evolution de l'humidité des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps. | 108 |
| Tableau 31: Evolution de l'indice de peroxyde des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps. | 109 |
| Tableau 32: Evolution de l'indice d'acide thiobarbiturique des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps. | 110 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|-----|
| Figure 1: Structure du grain de riz | 11 |
| Figure 2: Différents produits à chaque étape d'usinage du riz paddy | 11 |
| Figure 3: Principales étapes de la réaction de Maillard..... | 28 |
| Figure 4: Addition nucléophile d'une fonction amine sur la fonction carbonyle d'un sucre réducteur (D-glucose) lors de la première étape de la réaction de Maillard..... | 28 |
| Figure 5 : Schéma de la formation du composé d'Amadori dans la réaction de Maillard entre le glucose et un composé aminé..... | 29 |
| Figure 6 : Décomposition de la cystéine par le mécanisme de la dégradation de Strecker : formation du sulfure d'hydrogène (I) et du 2-mercaptoéthanal (II)..... | 30 |
| Figure 7 : Schéma de synthèse de mélanoïdines à partir de réductones et de résidus d'arginine | 31 |
| Figure 8 : Schéma du mécanisme d'oxydation des lipides et de ces conséquences sur la qualité des aliments | 32 |
| Figure 9 : Mécanisme des réactions d'oxydation..... | 33 |
| Figure 10 : Organigramme de la méthodologie utilisée dans cette étude..... | 42 |
| Figure 11 : Effet de la quantité de margarine et la quantité de la poudre de safou sur la granulométrie (A), le caractère fondant (B), la croustillance (C) et forme (D) des biscuits | 82 |
| Figure 12 : Effet de la quantité de margarine et la quantité de la poudre de safou sur la dureté (E), l'arôme (F) et la qualité globale (G) des biscuits | 84 |
| Figure 13 : La zone optimale des quantités d'ingrédients nécessaires pour la production des biscuits de riz-blé au safou acide..... | 86 |
| Figure 14 : Les conditions de composition de la pâte (blé, riz, margarine et safou qui satisfont les différentes réponses mesurées et les valeurs de désirabilité..... | 87 |
| Figure 15: Variation des paramètres de la couleur (L^* , a^* , b^* , c) en fonction des différents types de biscuits: Biscuit de riz-blé (BRB-50), Biscuit de riz-blé au safou acide (BRBSA-50), Biscuit de riz-blé au safou non acide (BRBSNA-50)..... | 95 |
| Figure 16: Acceptabilité des biscuits de riz (BR-100) en fonction de la taille des particules..... | 96 |
| Figure 17: Acceptabilité des biscuits de riz au safou (BRS-100) en fonction des tailles de particules | 97 |
| Figure 18: Acceptabilité des biscuits de riz au safou (BRS-100) et des biscuits riz (RB-100) en fonction des particules fines. | 98 |
| Figure 19: Acceptabilité des biscuits de riz-blé au safou acide (BRBSA) et des biscuits de blé sablé coco (RB-100)..... | 99 |
| Figure 20: Distribution des différents biscuits et leur composition nutritionnelle sur le système d'axe F1 & F2..... | 103 |

LISTE DES ANNEXES

| | |
|--|-----|
| Annexe 1. Fiche Optimisation des proportions de blé, riz, beurre et de safou dans les biscuits | 160 |
| Annexe 2. Fiche sensorielle descriptive des différents biscuits | 162 |
| Annexe 3. Biscuit de riz 100% emballé au polypropylène | 163 |
| Annexe 4 : Biscuit de riz 100% emballé dans de l'aluminium | 163 |
| Annexe 5 : Image de la mesure de la dureté des biscuits de riz | 164 |
| Annexe 6. Teneur en protéines | 164 |
| Annexe 7. Teneur en sucres : anthrone, H ₂ SO ₄ concentré, éthanol 80%. Pour un volume de 100 ml de solution, la solution d'anthrone se prépare comme suit pour: 0,2 g d'anthrone + 100ml d'acide sulfurique concentré (H ₂ SO ₄)..... | 164 |
| Annexe 8. Teneur en minéraux : eau désionisée, acide chlorhydrique concentré (HCl), acide nitrique (HNO ₃) 70 %, acide sulfurique concentré (H ₂ SO ₄), cristaux de chlorure de strontium (SrCl ₂ , | 165 |
| Annexe 9. Détermination de la teneur en vitamine C. | 166 |

LISTE DES PHOTOS

| | |
|---|----|
| Photo 1: Safou non acide (Eyenga dans cette étude)..... | 43 |
| Photo 2: Safou acide (Eyenga dans cette étude) | 43 |
| Photo 3: Les brisures de riz (Eyenga dans cette étude) | 44 |
| Photo 4: Biscuit optimisé (Eyenga dans cette étude) | 87 |

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

| | |
|---------------------|---|
| AFNOR: | Association Française de Normalisation |
| AJR: | L'Apport Journalier Requis |
| ANOVA: | Analyse de Variance |
| AOAC: | Association of Official Analytical Chemist |
| ASS: | Afrique Subsaharienne |
| BB-100: | Biscuit de blé 100%, |
| BR-100: | Biscuit de riz 100% |
| RSB-100: | Biscuit de riz safou 100% |
| BRB-50: | Biscuit de riz-blé au safou 50% |
| BRBSA-50: | Biscuit de riz-blé au safou acide 50% |
| BRBSNA-50: | Biscuit de riz-blé au safou non acide 50% |
| °C: | Degré Celsius |
| CIDA | Canadian International Development Agency |
| DO: | Densité Optique |
| Emballage-P: | Polypropylène |
| Emballage-A: | Aluminium |
| Fd : | Facteur de dilution |
| HR: | Humidité Relative |
| ICRAF: | International Centre of Research in Agroforesterie |
| INS: | Institut National de la Statistique |
| IRAD: | Institut de Recherche Agricole pour le Développement |
| IRRI : | Institut International de Recherche sur le Riz |
| IS: | Indice de Saponification |
| MDA: | Malondialdéhyde |
| NRDS: | Stratégie nationale de développement du riz |
| SEMRY: | Société d'Expansion et de Modernisation de la Riziculture de Yagoua |
| SODERIM: | Société de Développement de la Riziculture dans la Plaine de Mbo |
| TBA: | Thiobarbiturique |
| TST: | Teneur en Sucres Totaux |
| USDA: | Département Américain de l'Agriculture |
| UNVDA: | Upper Noun Valley Development Authority |

RÉSUMÉ

La majorité du riz (*Oryza sativa L.*) décortiqué en Afrique subsaharienne et au Cameroun contient une grande proportion de brisures (plus de 50 %). Ce riz brisé local a une faible valeur économique sur le marché. Par ailleurs, le safou (*Dacryodes edulis*) très apprécié localement est un fruit très riche en lipides (acides gras essentiels), en vitamine C, en polyphénol et en minéraux. Il est très périssable à l'état frais et entraîne d'énormes pertes post-récoltes. Pendant la période de récolte, le safou acide est le plus concerné. La présente étude a été menée dans le but de valoriser le riz brisé locale et réduire les pertes post-récoltes du safou à travers la formulation des biscuits de riz enrichis au safou. Les analyses physico-chimiques des poudres de safou acides et non acides ont été réalisées. Le principal objectif était de formuler les biscuits de riz enrichis au safou et d'évaluer les propriétés physiques, organoleptiques, nutritionnelles, la durée de la stabilité avec les emballages différents (aluminium, polypropylène). La composition des divers ingrédients comme la farine de blé, la farine de riz, la margarine et la poudre de safou a été optimisée en utilisant la Méthodologie de Surface de Réponse (RSM), avec le logiciel Minitab 18 et en prenant en compte 21 séries d'expériences et en observant les réponses comme la granulométrie, la dureté, la forme, la croustillance, le caractère fondant, l'arôme et l'acceptabilité globale. Les teneurs en lipides, en protéines, en fibres brutes et en vitamine c de la poudre de safou non acide sont significativement supérieures à celle de la poudre de safou acide. Les safou acides sont plus riche en minéraux. Le biscuit optimisé contenait 20,24% de farine de blé, 24,51% de farine de riz; 19,09% de margarine et 2,47% de la poudre de safou en dehors d'autres ingrédients comme le sel, le sucre, etc. L'acceptabilité globale du biscuit s'est avérée être de 4,02. Les biscuits optimisés ont été analysés pour déterminer leurs propriétés physiques, sensorielles, physico-chimiques et la durée de stabilité en fonction de deux types d'emballage. Les biscuits faits avec les particules fines (non sablé) avaient une granulométrie maximale de 500 µm et ceux enrichis au safou ont été perçus comme «très agréables», tandis que les biscuits au riz simples ont été perçus comme «agréables». L'enrichissement des biscuits avec du safou acide a augmenté la teneur en protéines, en acides aminés et en minéraux des biscuits. La durée de la stabilité des biscuits effectuée avec deux types emballages à savoir polypropylène et aluminium a été effectuée pendant 5 mois dans les conditions ambiantes (T=25°C,HR=60%) avec des intervalles d'un mois pour chaque paramètre. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de changement significatif pour les paramètres physiques (la dureté et la couleur) dans chaque type de biscuits pour les deux types d'emballages étudiés durant la conservation. Le taux humidité, l'indice de peroxyde et les malondialdéhydes sont peu variables(p<0,05) et particulièrement plus faible pour les biscuits de riz-blé au safou.

En somme, les biscuits de riz-blé au safou présentent un avantage certain, car ils sont faits avec des ingrédients naturels et peuvent être utilisés pour prévenir les maladies cardiovasculaires et lutter contre la malnutrition en protéines, en fer et en zinc.

Mots clés : brisure de riz, biscuits enrichis, pertes post-récolte, qualité, safou

ABSTRACT

The majority of rice (*Oryza sativa* L.) husked in Sub-Saharan Africa contains a high proportion of broken rice (over 50%) and this local broken rice has low economic value in the market, it is very rich in resistant starch. In addition, safou (*Dacryodes edulis*) is a fruit with high lipid levels (contains essential fatty acids), vitamin C, polyphenols and minerals. It is perishable when fresh and during the harvest period consumers prefer safou from the same clone and which must not be sour. Sour safou constitutes most of the of post-harvest losses. The present study was carried out with the aim of valorising low value broken rice grains to and reduce the post-harvest losses of safou fruits through the formulation of rice biscuits enriched with safou. Sour and non sour safou powder were analyzed for their physico-chemical properties. The main objective was to formulate rice biscuits fortified with dried safou powder and to evaluate the physical, organoleptic, nutritional properties, and the stability during storage in polypropylene and aluminium packages. The composition of the various ingredients like wheat flour, rice flour, margarine and safou powder was optimized using Response Surface Methodology (RSM), Minitab 18 software. 21 sets of experiments and observing responses considered on the responses of parameters such as hardness, granules, appearance, melting, crispness, aroma and overall acceptability were recorded. The results showed that the lipid, protein, fibre and vitamin C contents of the non sour safou powder were higher than that of the sour safou powder. The sour safou was richer in minerals. The optimized biscuit contained 20.24 % of wheat flour, 24.51% of rice flour; 19.09 % of margarine and 2.47% of safou powder alongside the other ingredients (salt, sugar, yeast, flavour agent). The overall acceptability of the biscuit was found to be 4.02. The optimized biscuits were analyzed for their physical, sensory, physico-chemical properties and their stability in to two types of packages. The biscuits made with the fine particles (non-sandy) of a maximum particle size of 500 μm and the safou rice biscuits were rated as "very nice", while the plain rice biscuits were rated as "nice". Fortification of rice biscuits with safou increased the protein, essential amino acid and mineral content of the biscuits. The stability of biscuits in polypropylene and aluminum packages was followed for 5 months at atmospheric conditions ($T = 25^\circ\text{C}$, $\text{RH} = 60\%$) with intervals of one month for each parameter. The results showed that there is no significant change in the physical parameters (hardness and colour) in each type of biscuits for the two types in packages used during storage. The relatively low humidity level, the peroxide value and malondialdehyde level in the biscuits are not very variable and is particularly lower for rice-wheat biscuits with safou.

Safou rice-wheat biscuits therefore have an advantage as they are made with local ingredients and can be used to prevent cardiovascular diseases and fight against protein, iron, phosphorus, potassium and zinc malnutrition.

Key words: broken rice, fortified biscuit, post-harvest losses, quality, Safou.

INTRODUCTION

Le biscuit constitue un des produits de boulangerie mondialement reconnu et consommé (**Aderinola et al., 2020**). Sa consommation a augmenté à cause de l'urbanisation et de la modernisation (**Sachithra et al., 2018**). C'est un casse-croute cuit au four, prêt à la consommation, ayant un goût unique, facilement disponible et possédant une longue durée de conservation (**Adeola et Ohizua, 2018**). Ils sont des produits de boulangerie contenant une grande variété de formes, de tailles, de textures et de saveurs. Ce sont des produits secs, constitués d'une croûte brun doré et une mie croustillante brun pâle. L'épaisseur des biscuits ne dépasse généralement pas 3-4 mm (**Ihekoronye, 1999**). Généralement, ils sont riches en glucides, en graisses et en calories, mais pauvres en protéines, en fibres, en vitamines et en minéraux, ce qui les rend non appropriés pour la consommation au quotidien (**Tsen et al., 2006; Olugbenga et al., 2017**). Les biscuits sont fabriqués principalement à partir de la farine de blé, du sucre et de la matière grasse (**Chandana et Navaratne, 2015**). Les variations des ingrédients principaux et d'ingrédients mineurs produisent différents biscuits (**Faridi, 1994**). Plus encore, ces ingrédients sont nutritifs et attrayants, mais une haute teneur en graisse (acide gras saturé), du sucre et de la farine de blé sont une mauvaise proposition pour les personnes obèses, diabétiques et coeliaques (**Ajay et Pradyuman, 2018**). Pour cette raison, la demande des consommateurs pour des biscuits sains augmente. De plus, la formulation des biscuits peut être modifiée facilement pour répondre à la demande nutritionnelle des consommateurs cibles (**Ashaye et al., 2015**).

La farine de blé tendre est le principal ingrédient pour la production des biscuits et d'autres produits de pâtisseries (**Dendy, 1993**). Toutefois, le blé a une faible teneur en acides aminés essentiels comme la lysine, la méthionine et la thréonine (**Saleh et al., 2012**). En outre, le blé n'est pas produit au Cameroun. Des recherches sont de plus en plus menées pour encourager l'utilisation des farines locales (maïs, orge, avoine, sorgho) (**Ashgan and Hala, 2022**) afin de réduire les importations de blé. La supplémentation de la farine de blé avec la farine de riz est un moyen très efficace pour limiter cette importation de blé et améliorer la qualité nutritionnelle des biscuits.

Au Cameroun, le riz est la deuxième céréale la plus consommée après le maïs et il est également un aliment de base pour les populations rurales et urbaines. La consommation nationale était de 920 000 tonnes en 2018 et 76 % était importés (**IRRI, 2020**). De plus, des pratiques de pré et de post-récolte sous-optimales donnent lieu à une faible qualité et quantité de riz produit localement (**Ndindeng et al., 2021**). Le riz local contient une grande proportion de grains brisés (35%-63%) (**Ndindeng et al., 2015**). La transformation des brisures de riz en farine pourrait accroître son utilisation dans le marché local.

La farine de riz est un ingrédient important dans la fabrication des aliments traditionnels et modernes à travers le monde (**Villareal et al., 1993**) et sa consommation reste bien appréciée par les consommateurs. Elle est composée d'une teneur en eau de 12,4%, 76,8% de glucides, 6,5% de protéines, une quantité négligeable de matières grasses (0,66%) et de 344 kcal d'énergie (**Shaheen et al., 2013**). La farine de riz ne contient pas de gluten et constitue un bon substitut pour les farines de seigle, d'avoine ou de blé, qui provoquent une irritation dans le système digestif de ceux qui sont intolérants au gluten (**Eke-Ejiofor et al., 2016**). En outre, la farine de riz locale est riche en amidon résistant (**Odenigbo et al., 2013**). L'amidon résistant augmente la quantité de substances non digestibles dans le côlon et démontre les avantages physiologiques des fibres alimentaires (**Noor Aziah et al., 2012**). **Annelisse et al. (2011)** ont montré que l'incorporation de l'amidon résistant dans une matrice céréalière peut augmenter l'apport en fibres alimentaires et donc aider à lutter contre les maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires et le diabète de type 2. La fabrication du biscuit ne se limite pas seulement à l'utilisation des farines. En effet, d'autres éléments clés sont également introduits pour sa confection.

Les matières grasses telles que la margarine et le beurre sont des ingrédients utilisés dans la production des biscuits. Ce sont des ingrédients importants qui jouent de nombreux rôles dans les propriétés texturales des produits de cuisson (**Mamat et Hill 2012**). Ils améliorent le goût et favorisent le ramollissement du produit final (**Negoită et al., 2017**). Ces graisses hydrogénées avec un point de fusion élevé sont utilisées depuis longtemps pour remplacer les graisses d'origine animale dans les produits de boulangerie. Cependant, ces graisses hydrogénées sont riches en acides gras trans (AGT) (**O'Brien et al., 2003**), ce qui cause un effet indésirable sur les profils lipidiques sériques et augmente donc le risque de contracter les maladies cardiovasculaires (**Aranceta et Perez-Rodrigo, 2012**). La valeur nutritionnelle des biscuits peut être améliorée à travers la substitution de la farine de blé par celle du riz et la fortification, la supplémentation avec des protéines, des lipides et des minéraux (**Induja et al., 2012**) pourrait être apportée par le safou.

Le safou, *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam., est un fruit produit par une oléagineuse de la famille des Burséracées, très appréciée en zone forestière du Cameroun. Ce fruit est très consommé par les populations des zones de production et même au-delà. Les fruits de *Dacryodes edulis* ont montré une grande variation de leur caractéristique d'un arbre à un autre en ce qui concerne, la forme, la couleur de la peau et de la pulpe, l'épaisseur de la pulpe, le goût et la durée de conservation (**Ndindeng et al., 2008**). Les fruits du safoutier (safou) possèdent d'énormes vertus nutritionnelles et thérapeutiques. Ce sont de véritables

sources de matières grasses (huile), vitamines, minéraux et de protéines (**Awono et al., 2002**). Les fruits du safoutier sont très riches en lipides et ses proportions varient de 33-65% (**kengue et al., 2002**). Les lipides contiennent un taux élevé d'acides gras essentiels (**Dzondo-Gadet et al., 2005**), ils sont de 18- 27% pour l'acide linoléique (C18: 2, n-6) et 15-30% pour l'acide oléique (C18:1, n-9) (**Silou, 1996**). Ces lipides ont des effets bénéfiques sur le profil lipidique à savoir l'augmentation du taux de HDL-cholestérol et l'abaissement du taux de LDL-cholestérol dont l'oxydation constitue le stade primaire de la genèse de l'athérosclérose (**Achu et al., 2008; Fokou et al., 2009**). La pulpe du safou contient également des valeurs élevées en minéraux (magnésium, phosphore, calcium, potassium, zinc, fer) (**Omogbai et al., 2010**). Bien plus, les fruits matures et le tourteau de l'amande dégraissée contiennent des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux, d'alcaloïdes, de terpènes et de stérols (**Atawodi et al., 2009 ; Ano et al., 2018**). En effet, les polyphénols jouent un rôle thérapeutique dans les maladies vasculaires, les inflammations, le diabète, la dyslipidémie, hypertension et le stress oxydatif (**Trindade et al., 2021**). Les produits naturels riches en fibres, en polyphénols, en vitamines, en minéraux, en d'autres composants bénéfiques possèdent de nombreuses propriétés bioactives comme les antioxydants, les anti-inflammatoires, les anti-cancéreux, les antidiabétiques, les anti-obésités, les hépatoprotecteurs, les immunorégulateurs, les antibactériens et un effet protecteur cardiovasculaire (**Shang et al., 2020**). Selon **Grigoras (2012)**, la consommation du safou permet de réduire certaines maladies telles que le cancer, l'hypertension, l'anémie, la dysenterie, la lèpre et les maladies cardiovasculaires. En somme, la présence des composés bioactifs dans les tourteaux de safou pourrait justifier son utilisation dans le domaine alimentaire et médicinale. Les consommateurs de la pulpe du safou (frais, bouilli, rôti et séché) ont exprimé le désir de manger des fruits charnus, légèrement ou non acides, huileuses, avec une belle saveur et une longue durée de vie (**Ndindeng et al., 2008**). Cependant, la majorité de safou acide est abandonnée et constitue la plus grande partie des pertes post-récoltes (**Ndindeng et al., 2012**). La particularité des fruits de *Dacryodes edulis*, provient du fait que conservés à milieu ambiant (25-30 °C), ils se ramollissent au bout de trois à cinq jours après la récolte. Cette périssabilité est liée à la nature même du safou entraîne des pertes post-récoltes pouvant atteindre 50 à 65 % (**Kengue, 2002; Silou et al., 2007**). De plus, les acteurs de la chaîne de valeur ont des connaissances et les ressources limitées pour assurer la qualité et l'augmentation de la durée de vie (**Ndindeng et al., 2012**). De nos jours, la conservation des fruits frais ne peut durer que deux semaines à l'aide du (1-méthylcyclopropène) à 25°C. Le séchage est une méthode de conservation utilisée pour augmenter la durée de vie et maintenir la qualité des fruits pendant et après la période de

récolte (**Ndindeng et al., 2007**). Mais, la consommation du safou séché ne fait pas partie de nos habitudes alimentaires. La pulpe du safou peut être broyée et peut être utilisée comme ingrédient dans la production des biscuits. Plusieurs études ont montré que le biscuit peut être enrichi par les légumes, légumineuses, les fruits pour accroître leur valeur nutritionnelle. La faible teneur en acides gras saturés et la teneur élevée en acides gras polyinsaturés (acide linoléique et oléique), en vitamines, en polyphénols et en minéraux fait de la pulpe de safou un aliment bénéfique pour la nutrition et la santé surtout pour des personnes âgées. Pour **Leudeu et al. (2006)**, l'huile de safou peut réduire les facteurs de risque des maladies cardiovasculaires. **Mbofung et al. (2002)** ont enrichi les biscuits avec la pulpe de safou mais le type de safou en terme de goût n'est pas précisé. Au Congo, les casse-croustes ont été produits à partir du safou blanchi (**Moukani et al., 2019**).

Le biscuit se distingue des autres produits céréaliers comme le pain et les gâteaux par une faible teneur en humidité qui est généralement de 4% (**Mamat et Hill, 2018**). La durée de conservation est de plusieurs mois dans des conditions de stockage propice (**Ihekoronye, 1999**). Néanmoins, les biscuits doivent être emballés dans des contenants qui empêchent l'absorption d'humidité (**Okaka, 1997**). Lorsque ses conditions ne sont pas respectées, les biscuits sont particulièrement prédisposés au changement accéléré des propriétés physico-chimiques, dû à l'oxydation des lipides présents dans les biscuits. Ces changements physico-chimiques entraînent ainsi différents phénomènes à savoir : la perte de la croustillance et la rancidité (**Calligaris et al., 2008**), générant par la suite des arômes et odeurs désagréables qui contribuent donc à la perte de la qualité organoleptique des biscuits et au rejet par les consommateurs.

Les biscuits de riz enrichis à la poudre de safou n'ont pas encore fait l'objet d'une quelconque étude et très peu d'informations existent sur leur formulation, les données physicochimiques, leur stabilité et la qualité d'emballage utilisé pour leur conservation. La présente étude vise la formulation de tel biscuit afin de pouvoir améliorer leurs caractéristiques sensorielle et nutritionnelle.

Hypothèse

La substitution partielle de la margarine par la poudre de safou dans la production des biscuits de riz améliore ses propriétés physiques, organoleptiques, nutritionnelles et la durée de la stabilité.

Objectif général

Formuler les biscuits de riz enrichis au safou et d'évaluer les propriétés physiques, organoleptiques, nutritionnelles, la durée de la stabilité avec les emballages différents. Plus spécifiquement, il s'agira de :

- 1) Développer un protocole de formulation des biscuits à base de la farine de riz et de la poudre de safou;
- 2) Déterminer les propriétés physicochimiques des safous, les propriétés sensorielles et physicochimiques des biscuits de riz, des biscuits enrichis au safou acide et non acide;
- 3) Déterminer l'influence du type d'emballage sur la durée de la stabilité des biscuits.

CHAPITRE I:
REVUE DE LA LITTÉRATURE

I.1. GÉNÉRALITÉS SUR LE RIZ

I.1.1. Production du riz

Le riz est une céréale de la famille des *Poacées*. Il existe plus de 2000 variétés de riz cultivées dans le monde divisés en deux grandes espèces: *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima*. L'espèce *O. sativa* représente la part essentielle de la production et contient deux variétés. La variété *indica* qui est un riz tropical produisant généralement des grains longs avec des teneurs en amylose élevée ou intermédiaire (>24%) et la variété *japonica* qui est un riz tempéré avec des grains ronds et les teneurs en amylose modérée (10-20%) (**Juliano et al., 2003**). La production mondiale est environ 519,6 millions de tonnes de riz usiné par an avec une croissance annuelle de 1,6% (**FAO, 2021**). Il est majoritairement cultivé par les pays développés principalement en Asie, en Chine et en Inde. Ceux-ci produisant environ 55% de la récolte total (**FAO, 2000**). De même, le riz fournit 20% de l'approvisionnement énergétique mondial en énergie, tandis que le blé en fournit 19% et le maïs 50% (**FAO, 2004**).

Le riz (*Oryza spp.*) est aussi une source importante de calories en Afrique subsaharienne et la production devrait augmenter pour satisfaire la demande sans cesse croissante. Selon le Département Américain de l'Agriculture (USDA), la production de paddy en Afrique subsaharienne (ASS) en 2018 était de 26,5 millions de tonnes sur une surface de 11,95 millions d'hectar (**IRRI, 2020**). En Afrique subsaharienne (ASS), le riz est l'un des produits alimentaires dont la demande augmente rapidement, principalement à cause de l'urbanisation (**Onyango, 2014**).

Au Cameroun, la production de riz a commencé en 1930. Elle a été introduite par des entrepreneurs Chinois qui ont commencé à exploiter l'opportunité d'irrigation. Cette production était réalisée par les entreprises d'Etat à savoir:

- la Société d'Expansion et de Modernisation de la Riziculture de Yagoua (SEMRY) à l'Extrême Nord;
- le «Upper Noun Valley Development Authority (UNVDA)» au Nord-Ouest;
- la Société de Développement de la Riziculture dans la Plaine de Mbo (SODERIM) à l'Ouest (**Akoa Etoa et al., 2016**).

Depuis la crise alimentaire de 2008, plusieurs pays africains ont reconnu que la croissance agricole est primordiale pour une croissance élargie (**Aker et al., 2011**). Mais, leurs programmes d'autosuffisance alimentaire étaient généralement concentrer sur la production, sans tenir compte des autres changements de la chaîne de valeur qui doivent être prise en considération (**Demont, 2013**). La Stratégie nationale de développement du riz (NRDS) du

Cameroun ne fait pas exception. En réponse à la crise alimentaire, le gouvernement a pris des mesures pour stimuler la production de riz dans le pays. Celles-ci comprennent, entre autres, (i) la restructuration des sociétés d'État impliquées dans la production de riz (SEMRY, UNVDA); (ii) la promotion des entreprises privées de production du riz pour produire du riz pluvial, comme à Ebolowa, Nanga-Eboko, Akono, Tonga et Makenene; et (iii) le renforcement des capacités de recherche-développement de l'Institut de recherche agricole pour le développement (IRAD). En conséquence, la production de paddy a augmenté de 23% par an, soit de 68000 tonnes en 2007 à 194000 tonnes en 2013 (**CountrySTAT Cameroun, 2014**). Toutefois, ces taux de croissance impressionnants n'ont pas encore comblé l'écart entre la production et la consommation, qui a augmenté à un taux de 17% depuis 2000 (**Rutsaert et al., 2013**). De ce fait, la facture d'importation de riz a régulièrement augmenté, ce qui a causé de graves conséquences sur la sécurité alimentaire et la stabilité politique du pays, comme cela a été enregistré lors de la crise alimentaire de 2008 (**Moseley et al., 2010; Seck et al., 2010**). Pourtant, le potentiel du Cameroun pour produire suffisamment le riz pour la consommation locale et l'exportation est énorme. Les écologies rizicoles sont le riz pluvial, le riz de bas fond et le riz irrigué. Le riz pluvial et de bas fond sont cultivés de façon indigène par de petits agriculteurs qui dépendent principalement du travail familial. Ce riz est cultivé sur une superficie de 100 000 ha à travers le pays par 108 500 agriculteurs qui ont produit un total de 244 000 tonnes de paddy (146 000 tonnes de riz blanc) en 2009. Cette production ne représente que 30% de la demande intérieure et les 70% sont importés et coûte au gouvernement un montant de 1194, 4 millions de francs CFA (**Malaa et Nzodjo, 2011**).

I.1.2. Traitement post récolte du riz

Le rôle principal du décortilage industriel du riz est de transformer le riz paddy en riz blanc, tout en lui donnant une bonne apparence et en sélectionnant les grains de meilleures qualités pour la consommation humaine (**Sotelo et al., 1990**). Après la récolte, le grain de riz est séparé de la paille par battage. Le grain pourvu de sa balle prend le nom de paddy. Pour obtenir un riz comestible, le paddy est nettoyé et séché. Il subit un traitement mécanique appelé usinage comprenant deux étapes. Le décortilage qui consiste à lui retirer la balle non comestible donnant un riz décortiqué, aussi appelé riz cargo, riz brun, ou riz complet. Le riz cargo comprend les couches externes du péricarpe, le tégument et le nucelle, ainsi que le germe ou embryon (tissu maternel) et l'albumen (l'endosperme). Ensuite un polissage, ayant pour but de débarrasser le riz cargo de son écorce brune et d'obtenir ainsi le riz blanchi (**Mohtadji-Lamballais, 1989**). Le décortilage affecte la qualité nutritionnelle du riz, laissant

la graine composé principalement de glucides. Dans le son réside des nutriments d'une importance vitale dans l'alimentation, ce qui fait du riz blanc un mauvais concurrent pour l'enrichissement (**Fizah et Maha, 2013**). Le décorticage du riz paddy a un rendement de près de 70% de riz (endosperme) comme produit principal, bien qu'il y ait des portions non consommées du riz produits, telles que la balle de riz (20%), le son de riz (8%) et le germe de riz (2%) (**Van Hoed et al., 2006**). Les balles (glumes et glumelles) qui sont riches en fibres cellulosiques représentent environ 20% du poids du grain. La balle de riz est principalement constituée de polysaccharides. **Kaupp, (1984)**, a montré que les cendres issues de la balle ont une quantité de silice comprise entre 95 et 97%. La balle de riz et la bagasse peuvent servir dans la fabrication de briquettes (**Maruyama, 1995**). Durant, le procédé de polissage du riz complet, le riz blanchi est obtenu. Il est ensuite calibré afin de séparer les grains entiers et des grains brisés (La plupart de ces sous-produits, principalement les plus petits grains de riz, sont utilisés pour fabriquer de la farine de riz, comme matière première pour élaborer de nombreux types d'aliments par processus d'extrusion (**Dors et al., 2006, Clerici et El-Dash, 2008**). Les brisures de riz obtenus constituent donc la matière première pour la production de la farine. Les brisures peuvent également être utilisées pour produire l'amidon (**Juliano et Bechtel, 1985**). Cet amidon est exclusivement utilisé dans le secteur de l'alimentation humaine, surtout pour faire des préparations pour nourrissons et des nouilles.

Afin d'améliorer la qualité physique, la qualité nutritionnelle du riz, son aptitude à la cuisson et à la conservation, le riz peut subir un procédé de transformation appelé étuvage. IL consiste en un trempage préliminaire du paddy dans de l'eau, puis un passage à la vapeur, et en fin un séchage. Ce procédé provoque la migration des vitamines, des protéines et des éléments minéraux vers l'intérieur du grain, en réduisant la perte de ces constituants au cours de l'usinage. IL entraîne également une gélatinisation de l'amidon et une désintégration des fractions protéiques, facilitant ainsi leur digestibilité. (**Favier, 1989 ; FAO, 1990 ; Alary et Laignelet, 1997**).

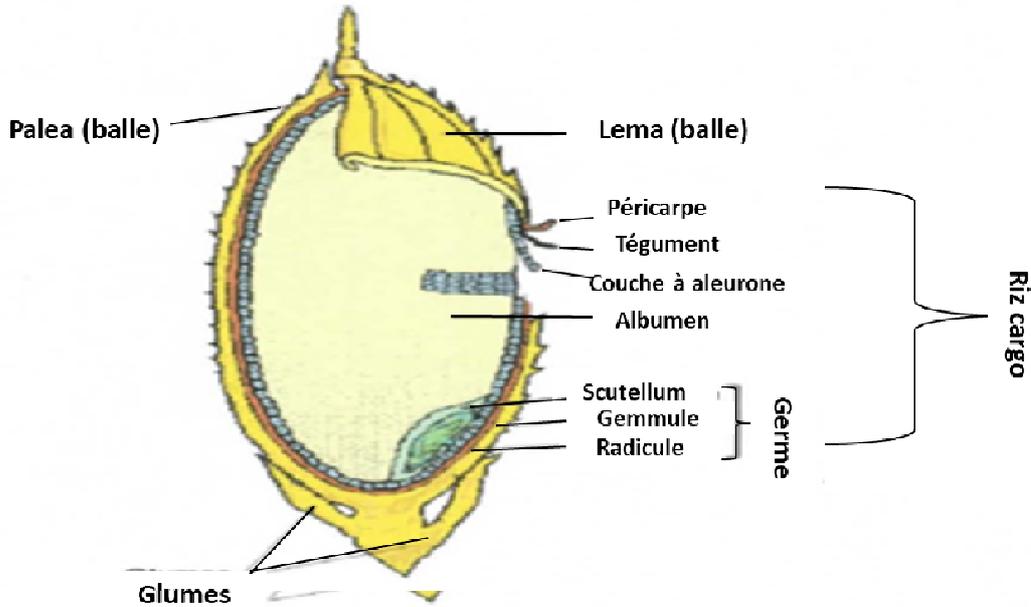


Figure 1: Structure du grain de riz (Cruz,2005)

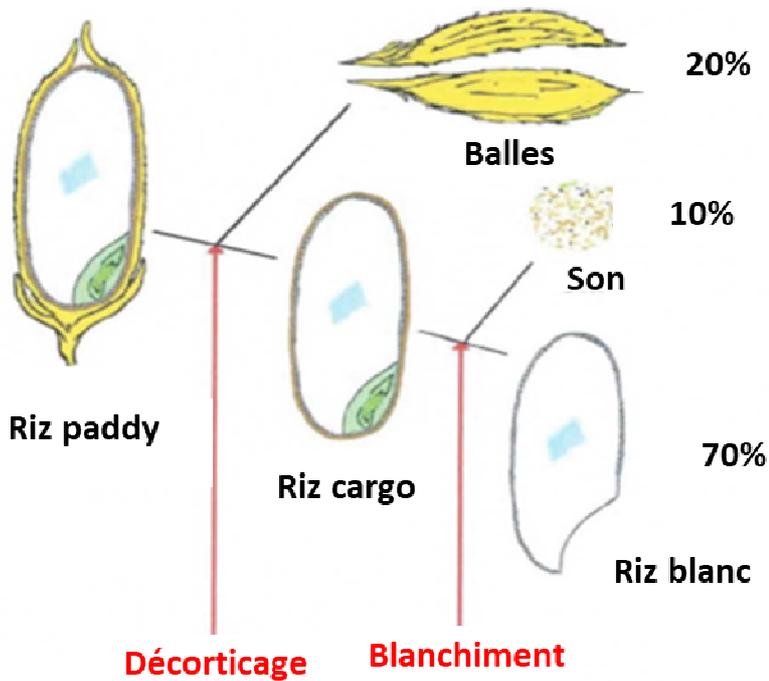


Figure 2: Différents produits à chaque étape d'usinage du riz paddy (Cruz, 2005)

I.1.3. Classification du riz

L'Institut International de Recherche sur le Riz (IRRI) a proposé deux classifications sur le riz. La première selon la taille des grains et la deuxième en fonction de la forme de celui-ci (Tableau 1 et 2) (Juliano, 1994). Examinant le projet de norme sur le riz, le

Codex Alimentarius, (2007) a proposé une classification du riz sur la base du rapport de la longueur et de la largeur du grain.

Tableau 1: Classification du riz selon la longueur du grain (Juliano,1994) et le rapport de la longueur et de la largeur (Codex Alimentarius, 2007)

| Type de classification | Longueur du grain (mm)(Juliano,1994) | Rapport de la longueur/Largeur du grain(mm)(Codex alimentarius,2007) |
|------------------------|--------------------------------------|--|
| Extra long | >7,5 | |
| Long |]6,66-7,50] | $\geq 3,1$ |
| Moyen |]5,51-6,66] | [2,1-3] |
| Court | <5,50 | ≤ 2 |

Tableau 2: Classification du riz selon sa forme (Juliano,1994)

| Forme | Rapport longueur/largeur |
|-------|--------------------------|
| Mince | >3,0 |
| Moyen |]3,1-3,0] |
| Large |]1,1-2,0] |
| Rond | <1,0 |

I.1.4. Valeur nutritionnelle du riz blanc

Le grain de riz est constitué de 75 à 80% d'amidon, 12% d'eau et 7% de protéines avec un complément complet d'acides aminés (Oko *et al.*, 2012). La teneur élevée en glucides fait du riz une bonne source d'énergie pour les personnes dont le riz est la principale composante de leur alimentation (Juliano, 1993). Ces glucides se caractérisent par une grande digestibilité, raison pour laquelle le riz est consommé, généralement sous forme de farine, dans les aliments infantiles (Laureys et Geeroms, 2002). Les protéines du riz ont particulièrement un taux élevé en lysine (4%), (Juliano, 1994; Laignelet, 1997). Ses protéines sont très digestibles. En plus d'être une bonne source d'énergie alimentaire, le riz ne contient pas du gluten qui est une protéine qui cause l'inflammation de l'intestin grêle chez

des personnes intolérantes au gluten d'où la maladie caeliaque (**Eke-Ejiofo et al., 2016**). Les lipides du riz sont constitués principalement d'acides gras insaturés. Le riz est une bonne source des vitamines du groupe B (thiamine, riboflavine et niacine) mais contient peu ou pas de vitamine A et est pauvre en sodium (**Benkadri, 2010**). Des minéraux comme le calcium, le magnésium et le phosphore sont présents ainsi que les traces de fer, cuivre, zinc et manganèse (**Yousaf et al., 1992**).

Tableau 3: Principaux constituants biochimiques du riz blanchi en g pour 100g de matière sèche Juliano(1994) et Verma et Srivastav (2017).

| Nutriments(g/100MS) | Riz blanc |
|---------------------|-----------|
| Lipides | 0,3-0,5 |
| Glucides | 77-89 |
| Protéines | 6,3-7,10 |
| Fibres | 0,9-2,8 |
| Minéraux | 0,3-0,8 |

I.1.5. Farine de riz

La farine de riz est obtenue par broyage des grains de riz brisés (**Luh et Liu, 1980**). Elle peut se produire à partir du riz blanc ou de riz brun (**Suresh et Samsher, 2013**). Elle peut être utilisée comme substitut de farine de blé car elle manque de gluten et contient de faibles niveaux de sodium et une grande quantité de glucides faciles à digérer, ce qui la rend approprié dans les régimes celiac (**Yimaki et al., 1991**). Elle a également une teneur en protéine et une viscosité considérablement plus faibles que la farine de blé raffinée (**Thomson, 1976**).

La farine de riz présente un certain nombre de caractéristiques uniques et peut être un meilleur substitut d'autres sources d'amidon dans un certain nombre d'applications alimentaires, pour préparer des aliments pour bébé, des nouilles, soupes, épaississants, produits extrudés et mélange avec d'autres ingrédients (**Juliano, 1984**). Elle est également un agent épaississant et peut-être utilisée pour la fabrication du pain de riz (**Eke-Ejiofor et Nwiganale, 2016**). Au Japon, la farine de riz est utilisée pour produire le pain, les nouilles et les gâteaux (**Araki et al., 2016**). La farine de riz est largement utilisée pour produire de nombreux types d'aliments; il est donc crucial de produire une farine à fines particules pour des applications dans différents types de produits alimentaires. Le riz varie considérablement en fonction du type de

préparation (**Hossain et al., 2009**) sa qualité alimentaire (**Bhattacharya, 2009**) et la variété de riz.

Les différentes propriétés physico-chimiques et rhéologiques des farines sont obtenues à partir de divers méthodes de broyage. Les propriétés de la farine de riz dépendent des caractéristiques physico-chimiques telles que la taille moyenne des granules, distribution des tailles, teneur en amylose et autres paramètres associés (**Madsen et Christensen, 1996; Singh et al., 2003**). La distribution granulométrique de la farine de riz est connue pour jouer un rôle important dans sa composition chimique (amylose, amylopectine et protéines) et la qualité des produits finaux. Les caractéristiques de la farine provenant du processus de broyage, telles que la taille des particules et le niveau d'amidon endommagé; détermine les produits finaux spécifiques (**Pauly et al., 2013, Winger et al., 2014**). La meilleure granulométrie de la farine de riz est généralement inférieur à 16 microns (**Kohlwey et al., 1995**).

Tableau 4: Principaux constituants biochimiques de la farine de riz en g pour 100g de matière sèche. (**Arendt et Dal Bello, 2008**)

| Nutriments(g/100MS) | Farine de riz |
|---------------------|---------------|
| Lipides | 2,4 |
| Glucides | 81,1 |
| Protéines | 5,9 |
| Fibres | 1,4 |
| Minéraux | 0,6 |

I.1.6. Farines composites

Les farines composites peuvent être définies comme un mélange de plusieurs farines obtenues à partir des racines et de tubercules, des céréales et de légumineuses, etc. avec ou sans ajout de farines de blé (**Adeyemi et Ogazy, 1985**). En Afrique subsaharienne le blé est l'ingrédient principal utilisé dans la production des produits de boulangerie, or ce blé provient uniquement de l'importation. En effet depuis 2008 au Cameroun, on a relevé une augmentation significative de ces quantités qui se situent en 2017 à 681 778 tonnes pour une dépense d'environ 103,7 milliards de francs CFA avec un prix moyen d'environ 300 \$ US la tonne (**INS, 2018**). Par ailleurs, dans les pays en voie de développement notamment ceux d'Afrique, les efforts de recherche sont consentis pour la substitution partielle de la farine de blé par les farines locales disponibles (**Shittu et al., 2007**). Selon plusieurs auteurs telsque **Hemeda et Mohamed (2010), Chaiya et Pongsawatmanit (2011)**, ces différentes études ont

montré qu'il est possible de substituer la farine de blé jusqu'à 50% avec d'autres produits. Parallèlement, Il y a également eu un souci d'amélioration des caractéristiques nutritionnelles en remplaçant partiellement la farine de blé par des ingrédients autres que le blé dans la production de biscuits. Le remplacement de la farine de blé par différents types de farine affecte principalement leurs valeurs nutritionnelles et leurs caractéristiques physiques, telles que la dureté et le rapport de propagation ainsi que les paramètres de couleur (**Warinporn et Geoffrey, 2018**).

Des études précédentes ont montré plusieurs types de substitution. **Okpala et Chinyelu (2011)** ont effectué des substitutions de la farine de blé avec la farine d'igname dans la production des biscuits. **Oyeyinka et al, (2012)** ont montré le potentiel de fabrication de biscuits avec la farine de blé et de plantain à différents stades de maturité (extrêmement vert, jaune et très jaune). Tous ses travaux sont effectués dans le but de réduire les importations onéreuses du blé et d'augmenter l'utilisation des denrées locales (**Ikpeme et al., 2010**). Actuellement, les biscuits sont préparés à partir de farine composite ou fortifiés avec d'autres sources des nutriments (**Wani et al., 2015**). **Banureka et Mahendran (2009)** et **Noor Aziah et al.(2012)** ont enrichis les biscuits avec les légumineuses. Ils ont effectué une substitution de 20%. **Bunde et al., (2010)** ont réalisé une supplémentation de biscuit avec du son de riz et farine de soja.

I.2. GÉNÉRALITÉS SUR LE SAFOU

I.2.1. Description botanique et utilisations du safou

Dacryodes edulis (G. Don) H. J. Lam, de la famille des Burseraceae est un arbre à feuilles persistantes de taille moyenne qui pousse dans une grande variété de sols et de régions (**Orwa et al., 2009**). Il est connu en anglais sous le nom de: African pear et en français sous le nom de: safoutier, prunier, atanga (Gabon). Il pousse naturellement dans la forêt sempervirente. Cette espèce est caractérisée par deux pseudo-stipules, à la base du pétiole, ce qui la différencie des autres espèces de *Dacryodes*. *Dacryodes edulis* est considérée comme une espèce polyvalente (**Todou et al., 2013**). Il atteint une hauteur d'environ 18-40m dans la forêt mais ne dépasse pas 12m dans les plantations (**Omonhinmin, 2012**). La domestication des arbres indigènes a été effectuée en 2002 au Cameroun. Ce programme était coordonné par *International Centre of Research in Agroforestry* (ICRAF) et implémenté par *l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement* (IRAD) (**Tchoundjeu et al., 2002**). Le safoutier produit des fruits comestibles très appréciés par la population locale et permet aux populations

d'effectuer des transactions commerciales, même au-delà des frontières de l'Afrique (**Tabuna, 2000**). La production des fruits par arbre est estimée à 223 kg. Ces fruits sont ellipsoïdaux et leur taille varie approximativement de 4 à 9 cm de long et de 2 à 5 cm de large (**Omoti et Okiy, 1987**). **Silou (1994)** a montré qu'un safoutier peut produire 7000 à 10500 fruits par arbre et chaque fruit pèse en moyenne 32g. La couleur du fruit est rosée quand elle est immature et commence à foncer en mûrissant avec des couleurs bleu foncé à violet. En maturité, certains fruits conservent leur couleur rose foncé (**Ene-Obong et al., 2019**).

Les fruits peuvent être consommés crus, rôtis ou ramollis par trempage dans de l'eau bouillie. Certains préfèrent manger la pulpe avec du maïs bouilli ou rôti (**Ene-Obong et al., 2019**). Bien que cette plante porte des fruits comestibles, les feuilles, les tiges, les racines et les écorces sont utilisés comme médicament pour le traitement de certaines maladies (**Ogboru et al., 2015**). L'extrait de l'écorce des arbres est utilisé pour remédier aux problèmes de dysenterie, de bouche, pour amygdale et en générale pour l'hygiène buccale (**Ajibesin et al., 2008**). Les feuilles sont utilisées pour guérir plusieurs affections cutanées (éruptions cutanées, gale et teigne) et les blessures (**Igoli et al. 2005; Ajibesin et al., 2008**). Les extraits de feuille ont montré un bon effet antibactérien (**Ajibesin et al., 2011**). La graine contient 50% d'huile (Arisa et Lazarus, 2008) et présente des caractéristiques comparables à celles de l'essence-diesel (**Ogunsuyi, 2015**). En plus de la consommation humaine, l'utilisation médicinale et de sa commercialisation, l'espèce est généralement cultivée dans les systèmes agroforestiers utile pour l'ombrage des principales espèces telles que le cacao et le caféier (**Sonwa et al., 2002**).

I.2.2. Fruits de *Dacryodes edulis*

Les études menées sur la classification de *Dacryodes edulis* reposent généralement sur les caractéristiques morphologiques et physiques des fruits. Les critères de classification des arbres comme les caractéristiques organoleptiques et la composition chimique des fruits semblent être moins expressives (**Okafor, 1983**). Les fruits du safou ont montré un degré élevé de variabilité morphologique d'un arbre à un autre dans la même zone et dans les différentes zones géographiques de production (**Waruhiu, 1999; Silou et al., 2002 ;Waruhiu et al., 2004**). Cependant, deux variétés de *Dacryodes* ont été identifiées en ce qui concerne les caractéristiques morphologiques (poids, longueur, diamètre et épaisseur de pulpe). *Dacryodes edulis* est une variété cultivée avec de gros fruits et *Dacryodes parvicarpa* est une variété sauvage avec de petits fruits au Cameroun, Nigeria et en Côte d'Ivoire (**Kadji et al., 2016**).

Les fruits présentent une large variabilité au niveau de la forme, la couleur de la pulpe et du goût (**Waruhiu et al., 2004; Ondo-Azi et al., 2009**). C est ainsi que **Ondo-Azi et**

al., (2017) ont montré que la masse et l'aspect du fruit peuvent être utilisés pour classer la taille et la forme. **Poligui et al. (2013)** traduisent cette diversité de fruit du safou en 5 formes de fruits (allongée, conique, globuleuse, oblongue, ovale). En ce qui concerne la forme et la taille du fruit de façon globale les safous ont 3 types de calibres: les petits, les moyens et les gros. Les fruits de tailles moyennes sont les plus représentés (**Poligui et al., 2013, Ondo-Azi et al., 2017**). De même, 3 gammes de couleurs ont été différenciées (la couleur bleu avec ses variantes, la violette avec ses variantes et enfin le blanc grisâtre) (**Poligui et al., 2013**). La taille et la forme des fruits sont des paramètres de qualité importants pour l'appréciation par les consommateurs (**Ondo-Azi et al., 2017**).

La grande variabilité intraspécifique des caractéristiques des fruits de *Dacryodes edulis* gêne également la commercialisation. Des analyses sensorielles ont été effectuées pour évaluer l'effet de la taille des fruits sur l'intensité relative des caractéristiques organoleptiques des fruits de *Dacryodes edulis* (Safou) au Cameroun. L'acidité et le caractère huileux étaient significatifs (**Kengni et al., 2001**). De même, les tests organoleptiques ont été effectués sur la pulpe fraîche et transformée du safou. Les résultats issus de cette étude ont montré que le pH et la couleur de la pulpe du safou cru peuvent être utilisés pour déterminer l'acceptabilité du safou bouilli et séché. (**Ndindeng et al., 2012**) Les consommateurs préfèrent le safou non acide.

I.2.3. Composition nutritionnelle de *Dacryodes edulis*

Les fruits de *Dacryodes edulis* ont une très grande valeur nutritionnelle. La pulpe de safou contient 33-65% de lipides (**Kengue, 2002**). Ces lipides contiennent des acides gras essentiels tels que l'acide linoléique (**Ajibesin, 2011**). Le profil des acides gras montre la présence de l'acide palmitique (9,06 %), l'acide stéarique (15,46%), l'acide oléique (26,63%) et l'acide linoléique (30,85%) (**Ikhuria et Maliki, 2007**). La composition en acides aminés essentiels comprends (la lysine 6,27%, l'histidine 2,41%, la phénylalanine 2,97%, la leucine 9,57%, l'isoleucine 3,87%, la thréonine 4,39%, la méthionine + cystine 1,02% et la valine 3,73%). Cette composition chimique traduit la valeur nutritive intéressante du safou (**Nwosuagwu et al., 2009; Ajibesin, 2011**). La teneur en fibres est de 14,50% et cela montre bien que le safou est un aliment qui peut faciliter la digestibilité et le transit intestinal (**Nwosuagwu et al., 2009**). La pulpe de Safou contient des vitamines et des minéraux (**Ajayi et Adesanwo, 2009**). Elle contient les vitamines A, D, E, K, la thiamine (B1), la riboflavine (B2), la niacine (B3), la pyridoxine (B6), la cobalamine (B12), la biotine et la choline. Les éléments minéraux tels que le phosphore, le calcium, le magnésium, du potassium, du sodium,

du zinc et du manganèse se trouvent également dans la pulpe. Selon **Ayuku *et al.* (2000)**, *Dacryodes edulis* a le potentiel d'améliorer la nutrition et la sécurité alimentaire.

Tableau 5: Composition nutritionnelle de la pulpe de safou

| Elements | Pulpe de safou | References |
|------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Lipides (%) | 33-65 | (Kengue <i>et al.</i>, 2002) |
| Glucides (%) | 14,02 | (Kadji <i>et al.</i>, 2016) |
| Cendres (%) | 11,33 | (Kengue <i>et al.</i>, 2002) |
| Protéines (%) | 19,19 | (Onuegbu et Ihediohanma, 2008) |
| Vitamine C (%) | 3,06 | (Kadji <i>et al.</i>, 2016) |
| Calcium (mg/g) | 3,54 | (Omogbai et Ojeaburu, 2010) |
| Magnésium (mg/g) | 2,84 | (Omogbai et Ojeaburu, 2010) |
| Phosphore (mg/g) | 6,95 | (Omogbai et Ojeaburu, 2010) |
| Potassium (mg/g) | 5,46 | (Omogbai et Ojeaburu, 2010) |
| Zinc (mg/g) | 3,81 | (Omogbai et Ojeaburu, 2010) |
| Fer (mg/g) | 3,58 | (Omogbai et Ojeaburu, 2010) |

I.2.4. Traitement après récolte

Le fruit est généralement récolté lorsqu'il acquiert la couleur bleu foncé, bleu violet, purple (**Ndindeng *et al.*, 2012**). La récolte du safou nécessite certaines précautions pour préserver l'intégrité des fruits et éviter les ramollissements qui est la principale cause des pertes post-récoltes. Pour maintenir la qualité et augmenter la durée de vie du fruit on doit le cueillir en absence de la pluie et ceux avec un petit bout de pédoncule (**Ndindeng *et al.*, 2007**). La conservation du safou a toujours été le problème le plus important dans le secteur du développement du safou dans le monde. Les fruits sont conservés à température ambiante (25 à 30°C), ils se ramollissent au bout de 3 à 5 jours après la récolte. Cette périssabilité liée à la nature même du safou entraîne des pertes poste récolte pouvant atteindre 50 à 65% (**Kengué, 2002, Silou *et al.*, 2007**). Au Gabon, les paysans transportent dans un même panier les fruits mélangés aux feuilles du safoutier, pour prolonger leur durée de conservation jusqu'à 3 jours. Au Cameroun, les paysans parviennent à conserver pendant 7 à 10 jours les

safou mélangés aux citrons (**Noumi et al., 2006**). Les fruits cuits et dénoyautés, salés ou non, sont emballés dans les feuilles de marantacées et conservés sur le fumoir (au-dessus du feu) pendant un à 4 mois. Outre ces techniques de conservation artisanale, il existe des moyens modernes permettant une conservation plus longue du safou. Ainsi, selon **Kengue (2006)**, la réfrigération à 4°C peut conserver jusqu'au-delà d'une semaine la qualité du safou, tandis que la congélation entre -10 et -20°C conserve le safou en gardant sa fermeté et sa fraîcheur initiale au-delà de 6 mois. Tout comme la conservation, la transformation du safou à l'échelle paysanne est presque inexistante. La pulpe fraîche de safou peut être séchée en morceaux épais ou fin, à l'aide des séchoirs (électriques, solaire) et conditionnés dans les sachets en plastique. **Kapseu, (2009)** a trouvé au Cameroun 4 produits issus de la transformation du safou frais à savoir l'huile de safou, la pâte de safou, l'huile essentielle de safou et les produits cosmétiques.

I.2.5. Usages du fruit de *Dacryodes edulis*

Le safoutier est planté avant tout pour ses fruits qui se consomment cuits (à l'eau, à la vapeur ou sur la braise). La partie consommée est la pulpe, soit comme mets à part entière avec du manioc ou du pain, soit en dessert, en amuse-gueule, ou en accompagnement avec du poisson ou de la viande. La pâte de safou est non seulement consommée comme la pulpe fraîche, mais elle sert aussi à tartiner du pain (**Duru et al., 2012**). Elle est également utilisée comme un condiment pour épaissir les sauces au même titre que la pâte d'arachide (**Tabuna et al., 2009**). Les huiles de safou servent tant à la consommation qu'à l'élaboration de produits cosmétiques (**Kapseu, 2009**). **Tabuna et al. (2009)** rapportent qu'au Cameroun, l'huile essentielle de safou est utilisée comme ingrédient entrant dans la fabrication des produits cosmétiques et dans l'aromathérapie, notamment dans le massage appliqué pour soigner le rhumatisme. De même, l'huile de safou pourrait être aussi exploitée pour la fabrication de biocarburant grâce à son potentiel énergétique (**Law, 2010**). Selon **Silou (1996)**, le tourteau ou la pâte résiduelle issue de la presse d'huile contient 13-16% de protéines et peut être utilisé comme un aliment pour les poissons et les animaux.

I.2.6. Importance économique

Les fruits du safou sont vendus dans le marché local et ce commerce est animé aux niveaux national, régional et même international. La vente du safou joue un rôle important chez les producteurs, les revenus sont particulièrement importants pour les femmes et aident les familles en payant les frais de scolarité à leurs enfants (**Schreckenberget al., 2002**). Pendant la vente, la taille du safou est un facteur déterminant dans le mécanisme de fixation

des prix. D'autres caractéristiques comme la couleur, le goût et l'épaisseur du mésocarpe affectent également la valeur marchande (**Atangana et al., 2002**). Celles-ci sont pourtant difficiles à mesurer visuellement, de sorte que la principale distinction est faite en fonction de la taille. Un filet peut contenir un mélange de gros, moyens et de petits fruits. **Awono et al. (2002)** ont montré que le prix du safou varie selon la catégorie de taille. Les fruits les plus large ont un prix de vente de 22 000 francs CFA par sac de 50kg, suivis des fruits mélangés à environ 21 000 francs CFA, les fruits de taille moyenne à 18 000 francs CFA par sac, et enfin petits fruits à 15 000 CFA par sac. En 1997, le Cameroun a eu une production de 13 000 tonnes et 89 tonnes de safou ont été exportées du Cameroun vers le Gabon. Il existe d'importants canaux de commercialisation informels du safou entre le Cameroun, le Congo, le Gabon, la Guinée équatoriale et le Nigéria. Environ 105 tonnes de safou sont exportées chaque année de l'Afrique Centrale vers l'Europe (France, Belgique) (**Temple, 1999**).

I.3. GÉNÉRALITÉS SUR LE BISCUIT

I.3.1. Biscuit

Le mot "Biscuit" est d'origine française et signifie "deux fois cuit". Aujourd'hui, la plupart des biscuits ne sont cuits qu'une seule fois (**Lallemand Inc., 2000**). Les biscuits sont des produits de grignotage de grande valeur énergétique élaborés à partir des farines de céréales, de matière grasse, du sucre et souvent additionné de la poudre levante et divers autres ingrédients (**O'brien et al., 2003**). Ce sont les aliments largement consommés par toutes les tranches d'âges et dans tous les pays. Leur popularité est principalement due à leurs goûts sucrés prêt à être manger, la nature de la valeur nutritive, et leur longue durée de conservation (**Sudha et al., 2007 ; Vujic et al., 2014**). Les biscuits doivent être considérés comme une forme de confiserie séchée à très faible humidité (**Okaka, 1997**). Ils ont généralement une teneur en humidité inférieure à 4% et une longue durée de vie de six mois ou plus (**Manley, 1998**). Le processus de transformation des biscuits a un faible coût (**Chowdhury et al., 2012**).

I.3.2. Classifications des biscuits

Il n'existe pas de classification officielle des biscuits en raison des productions et de la multiplicité des composants qui peuvent entrer dans les diverses fabrications. Néanmoins, les biscuits sont généralement classés comme étant des pattes dures et des pattes moles (**Manley, 1998**).

- Les pâtes dures ou semi-dures donnant naissance au type de biscuits secs sucrés et salés : petit beurre, casse-croute, etc. C'est une fabrication sans œufs qui représente environ 60% de la consommation des biscuits,
- Les pâtes molles concernent la pâtisserie industrielle. Il s'agit des biscuits secs moelleux. Ces biscuits sont particulièrement riches en œufs et matière grasses. Représentant environ 26,5% de la consommation des biscuits,
- Les pâtes de teneur en eau et de lait élevé contenant peu de matières grasses. Ce sont des pâtes à gaufrettes environ 10,5% de la consommation des biscuits (**Mamat et Hill, 2014**).

I.3.3. Rôles des principaux ingrédients

En général, les principaux ingrédients utilisés dans la fabrication des biscuits sont : la farine, la matière grasse et le sucre (**Gallagher 2008 ; Ardent *et al.*, 2009**). Les différentes combinaisons de ses ingrédients donnent naissance à une large gamme de produits avec des formes et des textures diverses (**Maache-Rezzoug *et al.*, 1998a ; Ardent *et al.*, 2009**).

a) Farine de blé

La farine de blé tendre est l'ingrédient principal de tous les biscuits (**Mamat et Hill, 2018**). Elle est produite à partir des graines de céréales moulus de taille relativement fine qui constituent un élément clé de la qualité des produits de biscuiteries fait à partir de blé dépourvu de surface brun et d'embryon (le son et le germe) et en réduisant la taille des particules de l'endosperme en une poudre fine (**Mamat et Hill, 2018**). Les farines des biscuits ont généralement une teneur en humidité d'environ 14%. Pour une farine biscuitière, la teneur en protéines doit être comprise entre 7,5 et 10%. Elle doit rester inférieure à 11%, car dans une farine trop forte, l'élasticité élevée de la pâte provoque son rétrécissement dans la machine et au four, avec l'inconvénient de donner des biscuits petits et épais (**Menard *et al.*, 1992 ; Colas et Tharrault, 1998; Feillet, 2000**). Par ailleurs, l'augmentation de la teneur en protéines favorise la structuration du réseau de gluten formé pendant le pétrissage. Mais, un réseau glutineux excessivement structuré bloque l'émission gazeuse. En conséquence, le biscuit produit est mince et sa texture est compacte (**Maache -rezzoug *et al.*, 1998a**). Cependant, dans le cas des formules de biscuits riches en matière grasse et en sucre (40% de sucre et 10 à 25% de matière grasse). On peut employer des farines fortes, dont la pate sera coupé par ces matières (**Selselet-Attou, 1991 ; Menard *et al.*, 1992**). La farine de blé diffère en fonction de la variété, des conditions de croissance, des temps de semis et de récolte, etc. (**Halverson et Zeleny, 1988**).

b) Matière grasse

Les graisses et les huiles sont essentielles dans tous les produits de boulangerie (**Mamat et Hill, 2014**) car le type de matière grasse influence de manière significative la pâte et les propriétés des biscuits. Les graisses sont des esters d'acides gras et de glycérol qui forment un triglycéride dans lequel ils sont attachés à une molécule de glycérol (**Kaur et al., 2014**) et sont couramment utilisés dans la fabrication de graisse et d'huiles végétales hydrogénées. Elle contribue à la plasticité de la pâte, joue le rôle d'un lubrifiant et influence la machinabilité de la pâte, et les qualités texturales et gustatives du biscuit après cuisson. La capacité de la matière grasse à disperser les constituants du mélange est dû à l'insolubilité dans l'eau de cette matière (**Maache-Rezzoug et al., 1998a**).

La principale fonction de la matière grasse est la fabrication des produits plus tendre. Elle lubrifie la structure en se dispersant dans la pâte durant le pétrissage (**Gallagher, 2008**), ce qui empêche la formation du réseau glutineux, résultant en une matrice moins élastique (**Fustier, 2006**). Après la cuisson, les propriétés organoleptiques désirées pour ces produits se caractérisent par une texture moins dure, une tendance à se fondre dans la bouche. Pour cela, la consistance désirée de la pâte peut être achevée en augmentant la teneur en matière grasse tout en diminuant la teneur en eau (**Gallagher, 2008**). En grande quantité, l'effet lubrifiant de cet ingrédient est tellement grand que peu d'eau est nécessaire pour l'obtention d'un niveau faible de la consistance. Il faut néanmoins noter que l'effet de la matière grasse sur la pâte et la qualité du biscuit n'est pas seulement fonction de sa composition mais aussi de celle de la farine (**Fustier, 2006**).

c) Sucre

Le sucre est un élément très important dans la production des biscuits, il représente 15 à 25% dans la formule d'un biscuit sec, et plus de 25% en pâtisserie industrielle. Le saccharose ajouté à l'état cristallin est le plus employé. Il contribue à la formation des arômes, de la texture et de la coloration. Il a également une fonction plastique (**Pellet, 2000**). L'augmentation de la teneur en sucre dans les biscuits réduit la dureté de la pâte ainsi que son élasticité (**Pareyt et al., 2009**). Durant le mélange de la pâte, le sucre inhibe le développement du gluten en faisant compétition à la farine sur la disponibilité de l'eau donnant ainsi des biscuits moins durs et plus friable (**Gallagher et al., 2003**). Ce dernier joue également un rôle important dans le développement de la couleur du biscuit pendant la cuisson. Sa caramélisation à une température supérieure à 149°C donne la couleur recherchée de la face

extérieur du biscuits (**Menard et al., 1992**). Par ailleurs, le saccharose est considéré comme un antioxydant dans les biscuits et contribue ainsi à prolonger la durée de conservation en retardant la rancidité des graisses (**Marley, 2000**). En général, quand la taille des cristaux du sucre augmente, la taille et la symétrie des biscuits diminuent alors que l'épaisseur augmente (**Gallagher, 2008**). Et comme le sucre garde l'eau; il joue le rôle d'un durcisseur, et cause la cristallisation des cookies pendant le refroidissement ce qui les rend croustillant et friable (**Fustier, 2006**). Le sucre joue aussi un rôle dans le développement de la texture. En effet, selon (**Manohar et Rao. 2002**) ,le glucose et les sucres invertis influencent les caractéristiques rhéologiques de la pâte biscuitière, en particulier l'adhérence et la viscosité, alors que le sirop de fructose favorise le développement de la couleur.

I.3.4. Pâte biscuitière

Le pétrissage permet de mélanger la farine avec les autres ingrédients. Il peut être une source d'information sur les propriétés rhéologiques des pâtes. En effet, le mélange subit un traitement mécanique fournissant l'énergie qui permet l'établissement de nombreuses interactions entre les constituants de la pâte. Il en résulte des variations de consistance qui modifient l'aptitude technologique des pâtes. Ainsi, l'étude de l'effet du temps de pétrissage sur les propriétés rhéologiques de la pâte biscuitière et les caractéristiques physiques des biscuits a montré que l'augmentation du temps de pétrissage entraîne un ramollissement de la pâte, une augmentation de la longueur et la réduction du poids de biscuit. Ainsi, un pétrissage excessif donne une pâte très molle. Cela est dû à une rupture dans les liaisons entre l'eau et les autres constituants, menant à une augmentation dans l'eau libre (**Maache-rezzoug et al., 1998 b**). L'augmentation de la quantité de matière grasse dans la pâte, favorise le développement d'une structure dure du biscuit (**Manly, 1998**).

Les différences dans la formulation; processus et attributs du produit fini sont fonction de la consistance de la pâte. Plusieurs types de biscuits existent, cependant, et malgré les différentes catégories, il y a certaines exigences rhéologiques c'est-à-dire; la pâte doit être suffisamment cohésive pour être façonnée/formée, et ne pas être collante. Le degré du développement du gluten est aussi un facteur déterminant très important pour quelques types de biscuits (**Gallagher, 2008**). Une pâte trop élastique n'est pas propice dans la fabrication des biscuits car elle rétrécit après le laminage (**Maacherezzoug et al., 1998a**). Le pétrissage, parfois le malaxage, est employé afin de développer un produit avec des caractéristiques désirables plutôt qu'assurer l'homogénéité, cependant un pétrissage excessif peut altérer la pâte (**Fellows, 2000**). À cause du réseau glutineux minime développé, la texture des biscuits

après cuisson est attribuée à la gélatinisation de l'amidon et le sucre refroidi plutôt qu'au réseau protéine/amidon. Le développement du gluten est minime et sert seulement à fournir une cohésion pour le maintien et le façonnage. Les pâtes biscuitières sont suffisamment extensibles pour être laminées facilement, sans être élastiques ce qui prévient le rétrécissement après le découpage, cela est utile pendant l'emballage (**Gallagher, 2008**).

Il faut noter qu'une variation de 1% de la teneur en eau change considérablement les diverses caractéristiques rhéologiques de la pâte biscuitière. Ces caractéristiques sont très importantes comme ils influencent la machinabilité de la pâte et aussi la qualité du produit fini (**Manohar et Rao, 1999**). Les étapes de pétrissage, d'oxydation des lipides et d'absorption d'eau jouent un rôle majeur dans la structure et les propriétés rhéologiques des pâtes (**Fustier, 2006**). En effet, la rhéologie de la pâte est d'une importance considérable dans la fabrication de biscuit. Ainsi, une pâte trop ferme ou trop molle, ne se traitera pas d'une manière satisfaisante sur l'équipement approprié de formation de la pâte et ne donnera pas un produit satisfaisant (**Manohar et Rao, 2002**). Dans l'optique, d'obtenir des pâtes biscuitières de bonne qualité, il est donc important de comprendre et de maîtriser toutes les étapes du procédé de fabrication à savoir la formulation, le pétrissage, le laminage et enfin la cuisson. Pour la fabrication des biscuits sans-gluten, la farine de blé tendre doit être remplacée par d'autres ingrédients exempts de gluten. Ces ingrédients ne remplacent pas uniquement l'amidon mais aussi les fractions protéiques (**Gallagher, 2008**).

I.3.5. Cuisson des biscuits

La cuisson est une étape clé dans laquelle la pâte crue est transformée en un produit léger, poreux, facilement digestible et savoureux, sous l'influence de la chaleur (**Lara et al., 2011**). Durant ce processus se déroule un processus complexe induisant des effets physiques, changements chimiques et biochimiques dans la matrice céréalière (**Zanoni et al., 1995**). On note également une dénaturation des protéines, gélatinisation partielle de l'amidon, expansion de la pâte par production et dilatation thermique de gaz, évaporation de l'eau, et formation de la couleur (réaction de Maillard) (**Menard, 1992 ; Maache-rezzoug et al., 1999 ; Chevallier et al., 2002**). La couleur est un paramètre très important dans l'acceptation des produits céréaliers par les consommateurs. Son apparition commence vers les dernières étapes du processus de cuisson (**Wade, 1988**), et il est proposé comme paramètre de détermination du temps final de la cuisson de ce type de produits. Pendant le traitement thermique, plusieurs réactions ont un impact sur les propriétés sensorielles et nutritionnelles des aliments. La réaction de Maillard est impliquée dans la génération des caractéristiques des saveurs et de la

couleur qui influence considérablement la perception du consommateur et la qualité du produit. Cependant, la réaction de Maillard est également responsable de la formation d'acrylamide au cours de la transformation des aliments à des températures élevées (**Yaylayan et al., 2003**). Les changements chimiques, et rhéologiques du biscuit ont été décrits comme dépendant étroitement de la température et de la durée de cuisson (**Thorvaldson et al., 1999**). Ainsi, selon le type de biscuit, le temps de cuisson peut varier de 6 à 10 minutes pour une température de cuisson variant entre 180 et 220°C (**Manley, 1998**). Du point de vue physique, le processus de cuisson fait appel aux transferts de matière et de chaleur. La perte en masse du biscuit durant le processus de cuisson est essentiellement due à l'évaporation de l'eau contenue initialement dans la pâte, ce qui explique pourquoi on assimile généralement la cinétique de perte en masse d'un produit, à sa cinétique de perte en eau (**Kaiser, 1974**). Elle dépend des propriétés intrinsèques du biscuit et des facteurs extérieurs comme la température, l'humidité et la vitesse de l'air dans le four (**Savoye et al., 1992**).

I.3.6. Critères de qualité d'un biscuit

Dans les procédés industriels dont font partie les industries de la biscuiterie, la productibilité des lignes dépend du respect des critères de qualité des produits fabriqués. Pour un biscuit, il s'agit de satisfaire à des contraintes dimensionnelles, de poids, de couleur, de goût et de texture. Cette dernière entre pour une part importante dans l'appréciation qualitative d'un biscuit sec par le consommateur. Elle est en outre un indicateur de la fraîcheur du produit. Des mesures simples comme les dimensions, la teneur en eau ou encore la masse volumique apparente (densité) peuvent, dans un premier temps renseigner de façon satisfaisante sur les propriétés texturales d'un biscuit sec. Ainsi, à un produit aéré correspond une texture qualifiée de "friable" (**Tharrault, 1997**).

Les caractéristiques les plus importantes de la qualité des biscuits produits à partir de n'importe quel ingrédient sont son apparence, la forme, la taille et la couleur, car les consommateurs peuvent facilement être influencés par l'apparence des produits alimentaires (**Warinporn et Geoffrey 2018**). **Andresen et al. (2013)** ont suggéré que les principaux facteurs déterminant les préférences des consommateurs en matière de biscuits sont étroitement liés aux principaux ingrédients, forme des biscuits et à l'apparence (c'est-à-dire la largeur et l'épaisseur), car ces aspects peuvent rendre les biscuits délicieux. Depuis plusieurs années, la mesure de la couleur, a également été utilisée comme paramètre de qualité dans les industries alimentaires. Elle est une considération importante lorsque les aliments sont enrichis par divers ingrédients colorés (**Jha, 2010**). Cependant, les perceptions des consommateurs varient selon les pays et les groupes ethniques (**Williams et al., 2016**).

I.3.7. Conservation des biscuits

La conservation des aliments vise à préserver leurs comestibilités et leurs propriétés gustatives et nutritives. Elle implique notamment d'empêcher la croissance des microorganismes et de retarder l'oxydation des graisses qui provoque le rancissement. Cependant, les méthodes de conservation utilisées reposent sur le transfert d'énergie qui a pour objectif d'allonger la durée de vie des produits alimentaires (pasteurisation, appertisation, stérilisation, réfrigération et congélation). Avant de communiquer, tracer, transporter et commercialiser, l'emballage joue également un rôle important dans la protection et la stabilisation de l'aliment. Celui-ci est mis en œuvre, le plus souvent, à la fin de la chaîne de production et on intègre ainsi les techniques de conservation de l'aliment (**Gontard et al., 2017**). Les denrées périssables se dégradent sous l'action d'animaux (insecte, rongeurs), champignons, de germes microbiens, de substances (oxydation à l'air) ou du temps sans aucun facteur externe. Cette dégradation provoque des modifications de la saveur, de l'arôme, de la texture et la qualité nutritionnelle des aliments (**Mbah et al., 2011**), ce qui peut rendre un aliment impropre à la consommation. Généralement les industrielles utilisent des additifs alimentaires pour prolonger la durée de vie des biscuits et certains, des emballages intelligents et actifs (**Gontard et al., 2017**). Pour prolonger leur durée de conservation, les emballages jouent également un rôle essentiel pour l'extension de la durée de conservation des produits. Le but principal de l'emballage est de protéger les produits alimentaires des risques environnementaux externes (**Yam et al., 2005**). L'emballage augmente aussi les ventes en créant une image de marque que l'acheteur reconnaît généralement et attire l'attention sur une meilleure qualité et brillance (**Peter et Axtell, 1993**). Le manque de saveurs, la perte d'arôme et de la croustillant des biscuits emballés sont la principale cause de rejet des consommateurs (**Chowdhury et al., 2012**). Ceux-ci pourraient être causés par la rancidité oxydative des aliments emballés, la perméabilité, la migration et les réactions entre les composants de l'emballage avec les composants alimentaires (**Ackermann et al., 1995**). La plupart des produits alimentaires dépendent de leur emballage particulier pour atteindre leur durée de vie prévue (**Steele, 2004**).

I.4. RÉACTIONS BIOCHIMIQUES

Les réactions non enzymatiques qui génèrent les composés néoformés au cours de la transformation thermique des aliments comprennent essentiellement la réaction de Maillard, la réaction de caramélisation des sucres et l'autooxydation des lipides. Ces réactions se

développent particulièrement au cours de la fabrication des biscuits. En effet, ils sont formulés avec des sucres et des matières grasses. La faible teneur en eau et la cuisson à haute température, favorise la réaction de Maillard et de caramélisation, alors que leur rapport surface-sur volume est très important. Il en résulte une élévation importante de la température au sein du biscuit qui dépasse rapidement 100°C. Ces réactions génèrent un ensemble très important et très complexe de molécules. Celles-ci sont directement responsables de la production de saveurs caractéristiques du biscuit et elles participent à la transformation du biscuit à l'échelle macromoléculaire, comme le développement d'un brunissement et d'une texture croustillante. Ces réactions sont capitales pour le développement des qualités organoleptiques du produit et conditionnent son acceptabilité par le consommateur.

I.4.1. Réaction de Maillard

La réaction de Maillard est l'ensemble des interactions résultant de la réaction initiale entre un sucre réducteur et un groupement aminé (**Machiels et Istasse, 2002**)(Figure 3). On peut subdiviser la réaction de Maillard en trois étapes principales:

- La première conduit à la formation réversible de glycosylamines qui se réarrangent selon les réarrangements d'Amadori ou de Heyns.
- La seconde étape correspond à la dégradation des produits des réarrangements d'Amadori et de Heyns. Elle conduit notamment à la formation de composés hétérocycliques responsables des odeurs.
- La troisième étape correspond à la polymérisation d'intermédiaires réactionnels produits lors de la deuxième étape. Elle aboutit à des mélanoidines.

La température, le temps de réaction, la teneur en eau ainsi que la concentration et la nature des précurseurs influencent la réaction de Maillard. L'interaction de sucres réducteurs et d'acides aminés et l'ensemble de leurs réactions successives est appelée brunissement non-enzymatique ou encore réaction de Maillard (**Maillard, 1912**). Cette réaction ou plutôt cet ensemble de réactions est considérée comme la plus importante dans la chimie des aliments (**Shenoy, 1993**). Elle a lieu lors du stockage des aliments ou plus fréquemment lors de leur traitement par des processus thermiques. En plus de son rôle prépondérant dans le développement des saveurs, il a aussi été démontré qu'elle est responsable de la formation de couleurs, d'anti-oxydants (**Griffith et Johnson, 1957; Manzocco et al., 2001**) et d'agents cancérigènes (**Nagao et al., 1979**). Elle peut aussi réduire de manière drastique la valeur

nutritionnelle des aliments en diminuant la concentration et donc la disponibilité des acides aminés essentiels (Kaanane et Labuza, 1989).

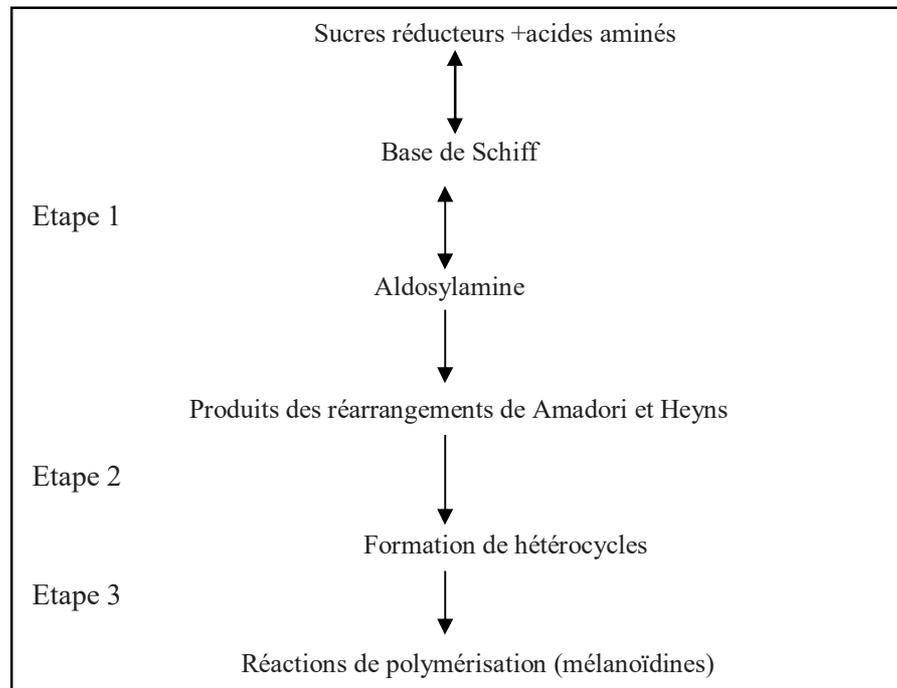


Figure 3: Principales étapes de la réaction de Maillard

La condensation de Maillard

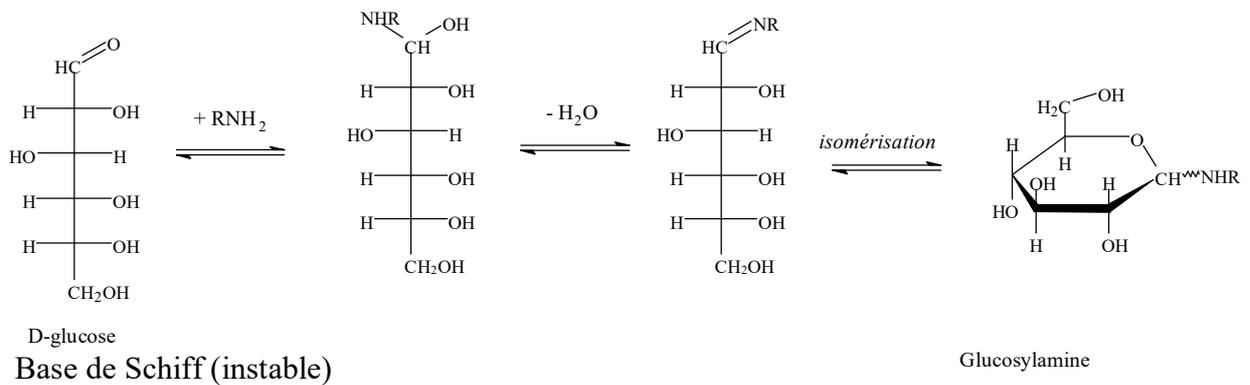


Figure 4: Addition nucléophile d'une fonction amine sur la fonction carbonyle d'un sucre réducteur (D-glucose) lors de la première étape de la réaction de Maillard

Le réarrangement d'Amadori

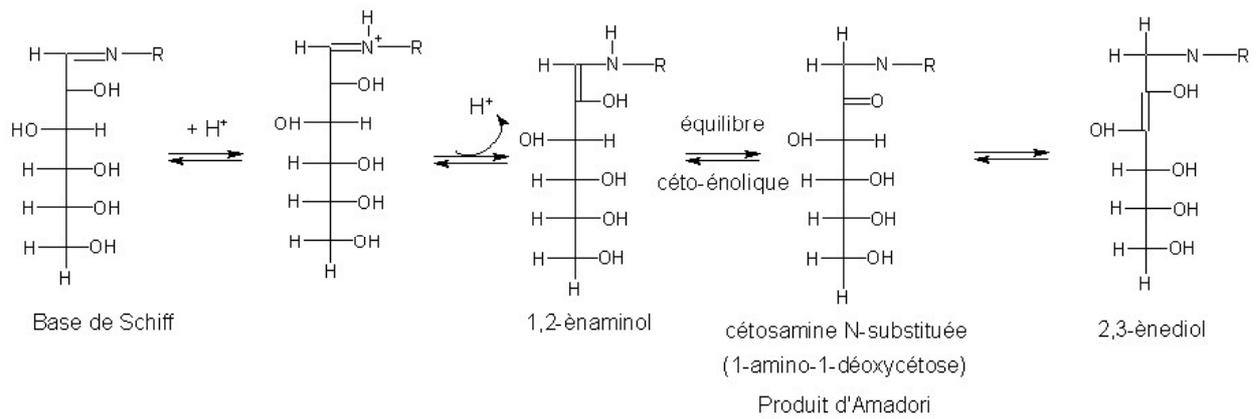
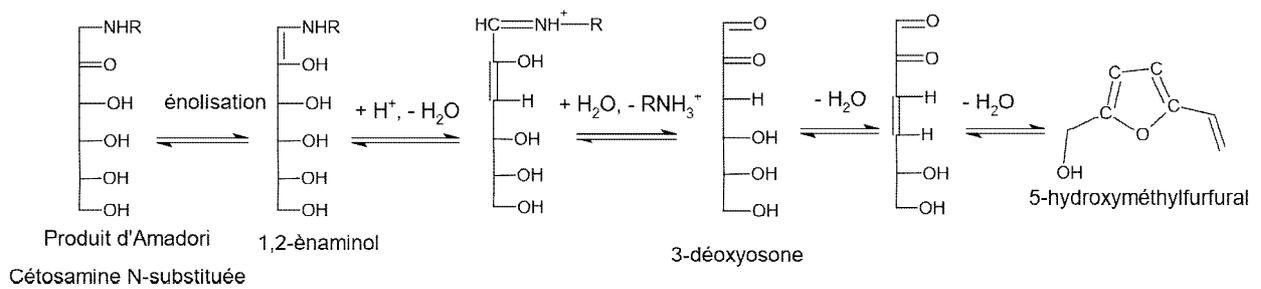


Figure 5 : Schéma de la formation du composé d'Amadori dans la réaction de Maillard entre le glucose et un composé aminé (*Chuyen et al., 1998*)

Déshydratation forte



Déshydratation modérée

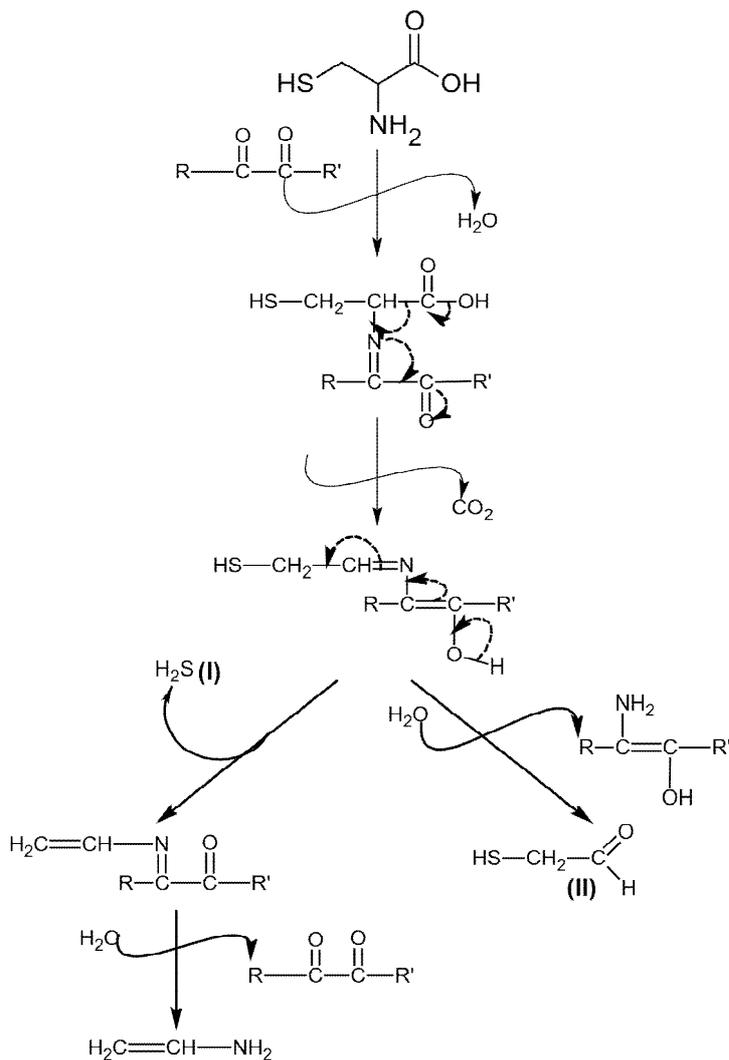


Figure 6 : Décomposition de la cystéine par le mécanisme de la dégradation de Strecker : formation du sulfure d'hydrogène (I) et du 2-mercaptoéthanal (II) (**Belitz *et al.*, 2004**)

Les réactions de scission

Une coupure des cétosamines et des aldoses obtenus lors du réarrangement d'Amadori ou de Heyns, peut conduire à la formation de molécules carbonylées ou acides de plus faibles poids moléculaires, qui, par condensation aldolique, donnent les polymères et composés d'arômes qui ne relèvent pas spécifiquement de la réaction de Maillard puisqu'ils apparaissent également dans les réactions de caramélisation.

Les réactions de polymérisation

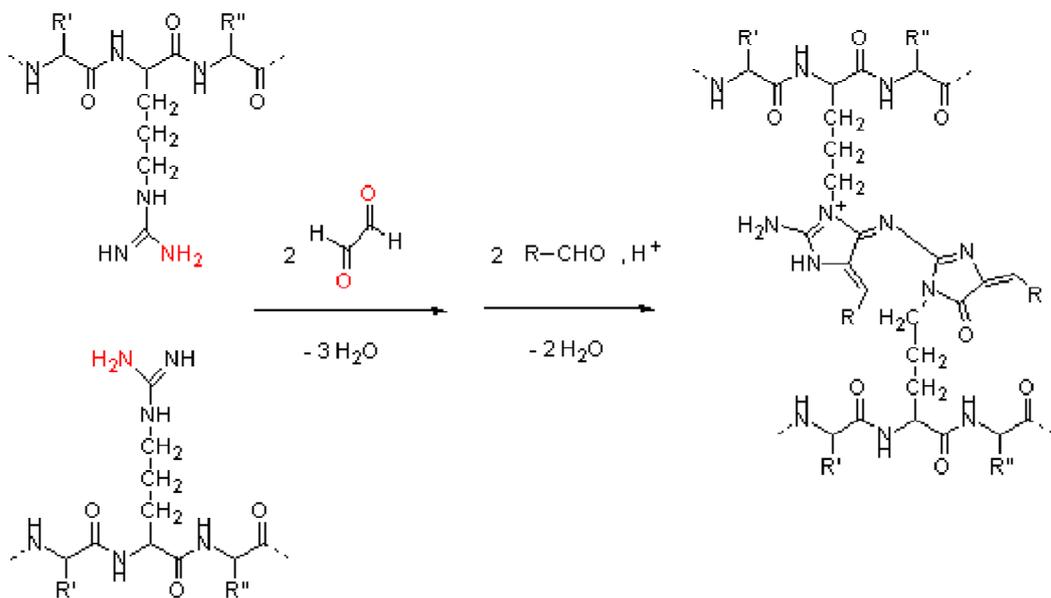


Figure 7 : Schéma de synthèse de mélanoïdines à partir de réductones et de résidus d'arginine (Hofmann, 1998)

I.4.2. Réaction de l'oxydation

Le principal problème des lipides est de s'oxyder facilement. Cette oxydation des lipides est une des causes majeures d'altération courante du système alimentaire. La structure des aliments change au cours de la transformation, ce qui peut rendre les lipides plus exposés aux molécules d'oxygènes. Le principal effet de l'oxydation des lipides est le développement de saveurs et d'odeurs qui raccourcissent la durée de conservation des aliments et les rendent inacceptables à la consommation (Malgorzata *et al.*, 2016). Dans le même temps, la valeur nutritionnelle et la sécurité des aliments diminuent en raison de la formation de composés primaires et secondaires délétères (Frankel, 1996), qui sont associés à un certain nombre de processus et de troubles dégénératifs, tels que le cancer, l'inflammation et les maladies cardiovasculaires (Marquez-Ruiz *et al.*, 2008). Lutter contre l'oxydation des lipides constitue donc un enjeu majeur pour les industries agroalimentaires.

a) Mécanisme des réactions d'oxydation

La première phase de la peroxydation lipidique est caractérisée par la présence des hydro peroxydes que l'on appelle les produits primaires de la peroxydation lipidique. Des

molécules oxydées peuvent se décomposer en produits secondaires terminaux pour former des endo peroxydes cycliques et finalement des aldéhydes comme le Malondialdéhyde (MDA)

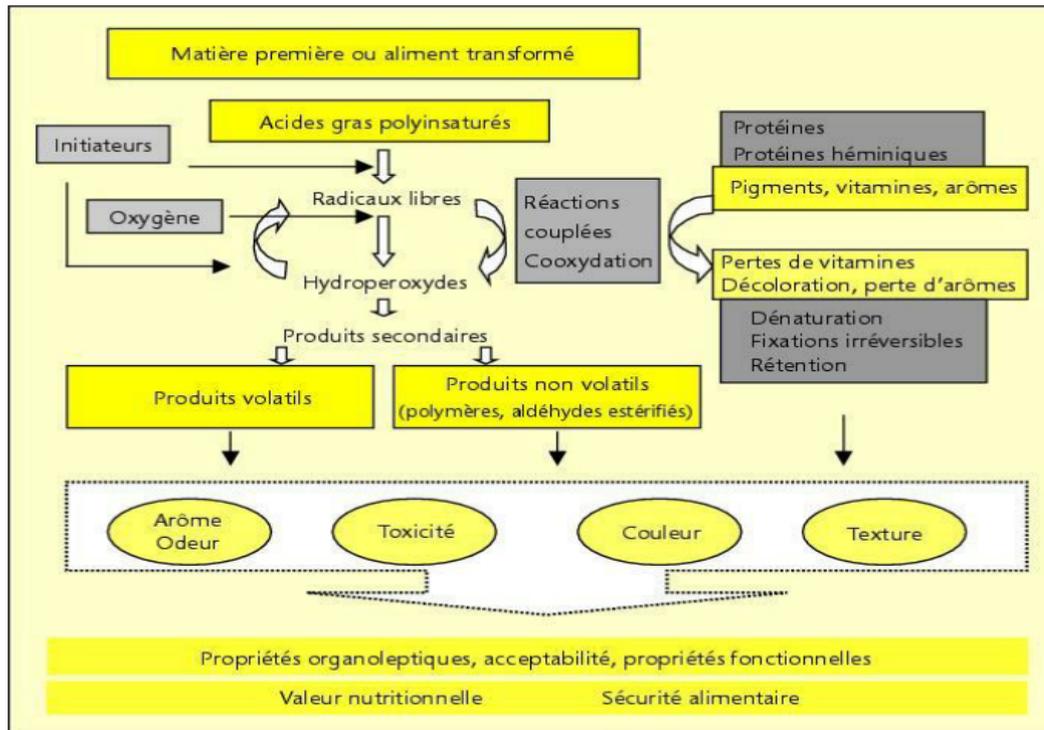


Figure 8 : Schéma du mécanisme d'oxydation des lipides et de ces conséquences sur la qualité des aliments (Génot 2000)

Il s'agit d'une série de réaction entre l'oxygène atmosphérique et les lipides (**Brodnitz, 2013**), un radical libre peut-être initialement produit par la chaleur, la lumière, ou la radiation à partir d'une chaîne carbonée. L'initiation thermique accapare l'oxygène, les radicaux libres entrent rapidement en réaction avec l'oxygène pour former un radical peroxyde. Ce dernier extrait l'hydrogène d'une autre molécule, formant un hydroperoxyde et un nouveau radical libre on peut schématiser comme suit le mécanisme des trois réactions d'oxydation (figure 8)

b) Auto-oxydation

L'auto-oxydation se fait en 3 étapes qui sont : l'initiation, la propagation et la terminaison. Les étapes sont résumées selon le schéma ci-dessous :

Dans la phase d'initiation, la réaction entre un acide gras ou un acylglycérol, dans son état fondamental, et l'oxygène triplet est thermodynamiquement impossible (**Min et Bradley, 1992**). Il est donc impératif qu'un atome d'hydrogène soit arraché à la molécule d'acide gras ou d'acylglycérol pour permettre à la réaction de se produire. La dissociation de l'hydrogène requiert de l'énergie, qui va dépendre de la position de l'atome d'hydrogène sur l'acide gras

ou l'acylglycérol. L'hydrogène rattaché au carbone situé entre 2 doubles liaisons est plus facile à arracher. Ce processus peut être accéléré par la chaleur, les métaux et la lumière (**Min et Boff, 2002**).

Dans la phase de propagation, le radical acyle réagit instantanément avec $^3\text{O}_2$, à une pression atmosphérique normale, pour donner le radical peroxy qui lui également arrache un atome d'hydrogène à une molécule lipidique pour former un hydroperoxyde, composé primaire de l'oxydation (**Aidos et al., 2002**).

Ces molécules d'hydroperoxydes sont très stables à température ambiante et en absence de métaux. Mais lorsque les conditions changent (hautes températures et/ou présence d'oxygène), les hydroperoxydes sont rapidement convertis en radicaux alcoyles. Les radicaux alcoyles vont donc subir une β -scission homolytique de la liaison carbone-carbone pour produire des composés oxo, et des acyles saturés et insaturés. Après réarrangement électronique, addition du radical hydroxyle ou transfert d'hydrogène, on aboutit aux composés ultimes de l'oxydation à savoir : les aldéhydes, les cétones, les alcools et les composés hydrocarbonés à courtes chaînes ; c'est la terminaison (**Choe et Min, 2006**).

La vitesse de passage des composés primaires aux composés secondaires dépend de la nature de l'huile végétale. Par exemple, ce passage est instantané dans l'huile d'olive alors qu'il ne se produit dans l'huile de tournesol que lorsqu'une quantité appréciable d'hydroperoxydes est produite (**Guillen et Cabo, 2002**).

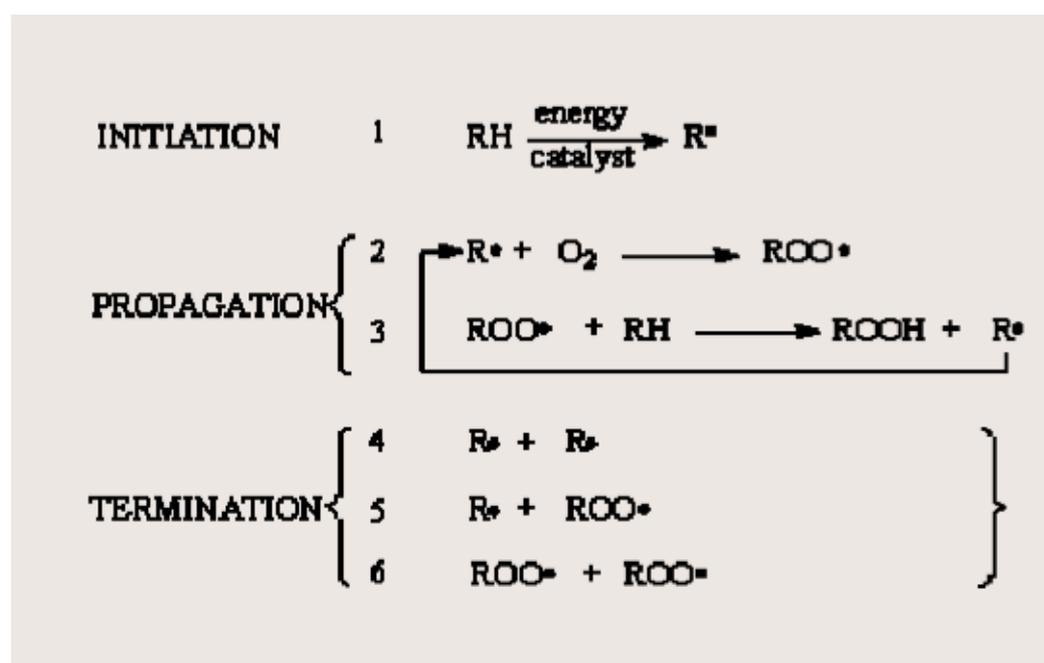


Figure 9 : Mécanisme des réactions d'oxydation (**Fawbush ,2013**)

c) Facteurs influençant l'oxydation des lipides

L'oxydation des lipides dépend de la nature de la matière grasse (solide, liquide, émulsionnée ou non) et d'un certain nombre de paramètres physico chimiques à savoir la teneur en oxygène, du milieu, la température, l'activité de l'eau, le pH, la présence et l'activité des agents anti oxydant (Cuvelier *et al.*, 2012). La peroxydation lipidique est activée lorsque l'activité de l'eau est comprise dans l'intervalle 0,6–0,8, autrement dit au moment où les réactions de caramélisation et celle de Maillard sont au minimum de leur activité (Faridi, 1994). Ces différents éléments sont en équilibre instable lors des manipulations, des transformations et du stockage des denrées alimentaires pouvant engendrer une évolution rapide de l'oxydation des lipides et par conséquent une altération de la qualité organoleptique, nutritionnelle et fonctionnelle des aliments et réduire ainsi la durée de conservation (Sun *et al.*, 2011).

d) Produits formés au cours de l'oxydation des lipides

L'oxydation des lipides conduit à la formation des produits primaires : hydroperoxydes, radicaux libres, diène conjugués très instables rapidement décomposés en produits secondaires aldéhydes, alcools, cétones. Ainsi, lors du développement des réactions d'oxydation, vont successivement apparaître les produits primaires et secondaires de l'oxydation. Les radicaux libres sont formés au cours des phases d'initiation et de propagation de la réaction d'oxydation des lipides. Ces espèces très instables et très réactives sont des composés cytotoxiques susceptibles d'induire des altérations des molécules D'ADN (Kanazawa *et al.*, 2000) et des protéines. Les diènes conjugués se forment par réarrangement des doubles liaisons du radical lipophile des acides gras polyinsaturés. Les hydroperoxydes sont des produits intermédiaires de l'oxydation des lipides. Par leurs caractéristiques labiles, transitoires, non responsables de goût spécifiques, inodores et incolores, ces produits primaires de l'oxydation des lipides sont difficilement quantifiables (Ganhao, 2010) et se décomposent rapidement. Ce sont des composés volatils. Les peroxydes sont naturellement présents dans les aliments. Ils sont en quantités insuffisantes pour assurer une protection efficace des aliments (Cuvelier *et al.*, 2012). Généralement les antioxydants les plus utilisés dans l'alimentation sont synthétiques bien que la tendance conduit à réduire l'utilisation des additifs alimentaires synthétiques au profit d'additifs naturel. Leur emploi réservé à certaines catégories d'aliments est réglementé par des doses limites d'utilisation (Cuvalier et Latino-

Martel, 2009) pour protéger les aliments de l'oxygène de l'air, des températures élevées et de la lumière cela permet de ralentir significativement le phénomène d'oxydation.

La scission des produits primaires de l'oxydation conduit à la formation des composés secondaires souvent volatils. Le MDA est un produit de décomposition oxydative des lipides insaturés comme produits secondaires du métabolisme de l'acide arachidonique. La plupart des dosages visant à déterminer la concentration de MDA ont été développés sur la base de la dérivatisation avec l'acide Thiobarbiturique(ATB) la condensation de ces deux molécules donne un produit facilement dosable par spectrophotométrie en raison de sa forte absorbance. La présence des produits de décomposition des peroxydes traduit un stade déjà avancé de l'oxydation.

1.5.GÉNÉRALITÉ SUR LES PLANS D'EXPERIENCES

1.5.1. Définition d'un plan d'expérience

Le plan d'expérience est une technique qui permet de quantifier les effets de divers facteurs sur une réponse dans des domaines expérimentaux bien déterminés dans le but de les optimisés (**Fadil et al., 2015**). L'élaboration d'un plan d'expérience commence par l'extraction d'un nombre suffisant de combinaisons à partir du domaine d'étude, pour estimer avec une incertitude, à la fois minimale mais aussi homogène, les coefficients du modèle polynomiale en respectant les contraintes qui peuvent être liées à l'étude qu'elle soit technique ou bien économique (**Rabier, 2007**).

1.5.2. Quelques terminologies

La réponse : Une réponse consiste à une quantification des performances du système étudié (**Benoits et al., 1994**).

Les facteurs : les paramètres que l'on fait varier au cours des essais sont sensés influencer sur la variation de la réponse (les variables que l'on désire étudier) (**Goupy, 2006**).

Domaine d'un facteur : Un facteur varie généralement entre deux bornes à savoir : la borne inférieure et la borne supérieur. Dans les plans d'expériences, un facteur varie entre le niveau bas (borne inférieure notée le plus souvent par -1) et le niveau haut (borne supérieure notée le plus souvent par +1), L'ensemble des valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut, est appelé domaine d'un facteur ou bien domaine de variation (**Goupy, 2006**).

Domaine d'étude : Un seul facteur est représenté par un axe orienté, et s'il y a deux facteurs, le second est représenté, lui aussi, par un axe gradué et orienté. Ce dernier est disposé

orthogonalement au premier, la réunion des domaines de variations de chaque facteur définit le domaine d'étude (**Goupy, 2006**).

Interaction : L'effet pour lequel l'influence apparente d'un facteur sur une variable de réponse dépend d'un ou de plusieurs facteurs. L'interaction indique une incohérence de l'effet principal d'un facteur sur la réponse selon le niveau d'un autre facteur (**Karam, 2004**).

Matrice d'expérience : Une matrice d'expérience définit les essais à réaliser. Le terme essai est l'équivalent de point d'expérience lorsque l'on emploie la représentation en tableau des plans d'expérience. Plusieurs autres appellations existent pour désigner un essai : traitement, combinaison, expérience...etc (**Goupy, 1999**).

1.5.3. Intérêts des plans d'expérience

Les rôles des plans d'expériences sont : la détermination des facteurs clés dans la conception d'un nouveau produit ou d'un nouveau procédé ; l'optimisation des réglages d'un procédé de fabrication ou d'un d'appareil de mesure ; et enfin la prédiction par modélisation du comportement d'un procédé (**Goupy, 2006**). Les avantages des plans d'expériences sont la minimisation du nombre nécessaire d'expériences et un gain en temps et en coût financier. Ils permettent également d'avoir une meilleure précision et modélisation des résultats.

1.5.4. Typologie des plans d'expériences

Il existe deux grands types de plans d'expérience à savoir les plans de criblage et les plans à surfaces de réponses dit plans d'optimisation. Les plans de criblage permettent de sélectionner les facteurs les plus influents sur la réponse mesurée et où les interactions sont négligeables ou supposées négligeables. Ces plans n'ont que deux niveaux d'étude par facteur et les modèles mathématiques utilisés sont du premier ordre (avec ou sans interactions). Ils conduisent parfois à des modélisations simples mais suffisantes (**Goupy, 2006**).

Les plans de surface de réponses quant à eux permettent de corriger cette limite en offrant la possibilité de passer si besoin nécessaire à des modèles mathématiques du deuxième ordre (**Goupy, 2006**). Ce sont entre autres, le plan composite centré, le plan de Box-Benken, le plan de Doehlert pour ne citer que ceux-ci. Ces plans peuvent être utilisés en agro-industrie pour prédire les comportements des éléments entrant dans la formation des produits et la qualité de ce dernier. Parmi ces plans de surface de réponses, celui de Doehlert de par son réseau uniforme et la démarche séquentielle offerte, est le plus adapté pour les procédés de formulation de nouveaux produits (**Goupy, 2006**).

Tableau 6: Différents types des plans d'expériences(Goupy, 1999).

| Plans de criblage | Plans de modélisation |
|------------------------------|------------------------------|
| Plans à un facteur à la fois | Plans factoriels complets |
| Plans fractionnaires | Plans non conventionnels |
| Plans sursaturés | Plans composites centré |
| Plans factoriels complets | Plans de Doehlert |
| | Plans de Box-Behnken |
| | Plans de Roquemore |
| | Plans D-optimaux |
| | Plans de mélange |
| | Plan de plaquette et Burmane |

1.5.5. Méthodologie des surfaces de réponse (MSR)

La méthodologie de surface de réponse (MSR) est un outil statistique qui est magnifiquement utilisé dans le développement et l'optimisation des produits alimentaires (Nazni *et al.*, 2014). En outre, il peut être utilisé pour déterminer systématiquement les effets de plusieurs variables dans un mélange sur les attributs de qualité tout en minimisant le nombre d'expériences qui doivent être menées (Gunst, 1996). Cependant, il s'agit d'un ensemble de techniques mathématiques et statistiques utiles pour évaluer et optimiser la réponse des systèmes multivariés (Danbaba *et al.*, 2015). Le modèle MSR réduira le nombre d'essais et fournira une approche de régression multiple.

1.5.6. Le plan de Doehlert

C'est un plan de surface de réponse caractérisé principalement par une démarche séquentielle offrant la possibilité de construire autour d'un des points de la matrice comprenant une partie déjà effectuée (Goupy, 2006). Ce plan offre également la possibilité pendant une étude d'augmenter le nombre de facteurs sans toutefois entraîner la perte de la qualité de la matrice expérimentale. Le nombre d'expérience est réduit comparé aux autres plans de surfaces de réponses et est calculé pour un nombre K de facteurs par la formule $N=K^2 + K + 1$, avec au moins trois répétitions au centre du domaine expérimental.

1.5.7. Modélisation

Les réponses mesurées sont représentées par une équation polynomiale de second ordre qui est de la forme :

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} X_j^2 + \sum \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Avec β_0 : la constante, ε : l'erreur et les β_j β_{jj} et β_{ij} sont les coefficients du modèle.

Cette équation est valable dans le domaine uniquement sur l'ensemble du domaine expérimental. Les coefficients des facteurs précédés d'une valeur négative ont une influence négative sur la réponse et ceux précédés d'une valeur positive ont une influence positive sur la réponse. Lorsque la valeur de la probabilité des facteurs est inférieure ou égale à 0,05, le facteur est dit significatif. En utilisant les modèles mathématiques, les réponses peuvent être représentées par des courbes d'isoreponses ou des surfaces de réponses. Ces courbes permettent de visualiser toutes les conditions expérimentales aboutissant à une même valeur de réponse à l'intérieur d'un domaine expérimental bien défini.

1.5.8. Validation des modèles

Les modèles mathématiques générés sont validés par plusieurs paramètres à l'instar du coefficient de corrélation (R^2), du coefficient de corrélation ajusté (R^2 adj), de l'analyse absolue de déviation moyenne (AADM), du facteur de biais (Af), du facteur de biais polarisé (Bf) (Ross, 1996 ; Bas et Boyaci, 2007). La validation des modèles est généralement confirmée en effectuant les expériences au niveau des points optimaux suivi d'une comparaison via des tests statistiques des réponses obtenues expérimentalement à celles prédites par le modèle.

1.6. ANALYSE CRITIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS

Les aliments populaires qui sont des vecteurs efficaces d'incorporation de nutriments sont progressivement ciblés par un marché croissant et de plus en plus exigeant pour la prise en charge des troubles de santé (Granato *et al.*, 2010). Parmi ces aliments, les biscuits présentent un potentiel en tant qu'aliments améliorés pour répondre aux besoins nutritionnels ou de prévenir les maladies liées à l'alimentation (Nogueira et Steel, 2018). Les biscuits offrent plusieurs possibilités pour la gestion des troubles liés à la nutrition humaine. Ils sont largement consommés comme casse-croûte ou en complément d'autres aliments (Goubgou *et al.*, 2021). Ainsi la consommation et la production des biscuits a considérablement augmenté dans le monde (Canalis *et al.*, 2017). La commercialisation des biscuits a atteint 76385

milliard de en fin 2017, 121 milliard 2021 et de dallard en 164 de USD dici 2024 à un taux de croissance annuel composé de 3,7 et 5,08% respectivement (**Apeda agri exchange, 2020**). La grande consommation des biscuits en fait un produit idéal pour l'enrichissement (**Kadam et Prabhasankar, 2010**). Cependant, certains biscuits sont même utilisés dans le cadre de stratégies nutritionnels pour lutter contre plusieurs maladies chroniques et liée à la nutrition, telles que les carences nutritionnelles, le diabète, l'obésité, les maladies cardiovasculaires et les cancers (**Canalis et al., 2017; Singh et Kumar, 2017; van Stuijvenberg et al., 2001**). La capacité d'enrichissement des biscuits et leur forte acceptation par les consommateurs ont conduit à leur accorder plus d'attention pour la formulation d'aliments fonctionnels ou nutraceutiques (**Mahamadé et al., 2021**). Les biscuits ont été enrichis par des champignons (**Biao et al., 2020**), la farine de banane (**Ovando-Martinez et al., 2009**), patate douce (**Adeola et Ohizua, 2018**), le poisson et les crustacées (**Ibrahim, 2009; Abou-Zaid et Elbandy, 2014**), le fromage (**Swapna et Jayaraj Rao, 2016**). Des travaux ont été également effectuer sur la substitution de la farine de blé par la farine de riz (**Hadnadev et al., 2013; Rai et al., 2014; Sulieman et al., 2019, Adeyeye, 2020**), la substitution de la farine de blé par la farine d'igname (**Akujobi, 2018**). Certaines études sont effectuées sur la substitution du sucre avec maltitol, isomalt, erythritol, arabinoxylan oligosaccharides, maltodextrine (**Aggarwal et al., 2016; Pourmohammadi et al., 2017; Góngora et al., 2018**). Plusieurs matériaux ont été utilisé pour effectuer la substitution des matières grasses dans la production de biscuit telque inulin (**Canalis et al., 2017**), l'huile de palm (**Van stuijvenberg et al., 2001**), l'huile d'olive (**Tarancón et al., 2013**). La substitution partiel des farines des céréales avec des composées spécifiques sont utilisées pour améliorer la qualité nutritionnelles des biscuits (**Adeola et Ohizua, 2018; Biao et al., 2020**).

CHAPITRE II:
MATÉRIEL ET MÉTHODES

Une étape cruciale de ce projet de recherche est d'effectuer formuler les biscuits de riz enrichis au safou et d'évaluer les propriétés physiques, organoleptiques, nutritionnelles, la durée de la stabilité avec les emballages différents. Dans ce chapitre, la matière première est décrit premièrement, la méthodologie du plan d'expérience de Doehlert est utilisée pour générer les différentes formulations et les réponses issues de l'analyse sensorielle sont analyser par la méthodologie de surface réponse grâce au logiciel MINITAB. Les méthodes, physiques et physicochimiques sont utilisées pour caractériser les différentes poudre de safou acide, non acide et leurs huiles. Les méthodes sensorielles, physiques et physicochimiques sont également utilisées pour caractériser les biscuits de riz et les biscuit de riz-blé au safou acide et non acide. Enfin, une étude de la stabilité des biscuits emballés dans du polypropylène et l'aluminium est effectué.

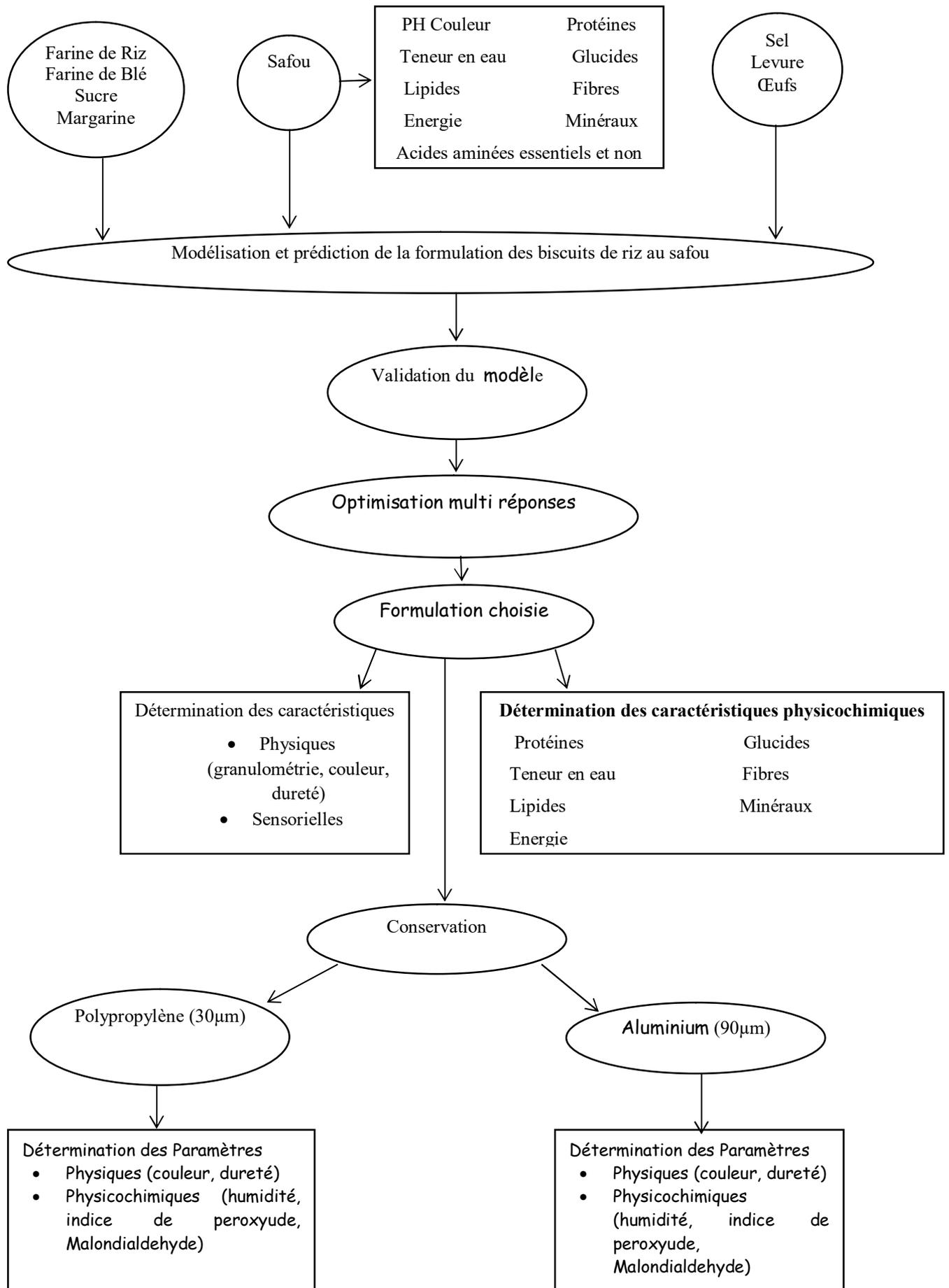


Figure 10 : Organigramme de la méthodologie utilisée dans cette étude

II.1.1. Collecte et traitement des fruits du safou

Des clones de safou (*Dacryodes edulis*) acide et non acide caractérisé par **Ndindeng et al. (2008)** ont été collectés dans un champ expérimentale de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) à Nkolbisson Yaoundé-Cameroun. *Dacryodes edulis*, espèce cultivée, est un arbre fruitié donc les fruits sont très appréciés par les populations du Cameroun **Todou et al. (2013)**.



Photo 1: Safou non acide (Eyenga dans cette étude)



Photo 2: Safou acide (Eyenga dans cette étude)

Les fruits matures (couleur noir et bleu) du safoutier sont cueillis et transporté à l'aide des sacs en filets jusqu'au laboratoire. Ensuite, les fruits du safou ont été lavés avec de l'eau puis coupés en deux à l'aide d'un couteau. Les graines et le péricarpe ont été séparés. Les

fruits ont été découpés en 1,5 cm² et ont été séchés dans une étuve Heraeus® D-6450 Hanau pendant 24 heures à 60°C. Les safous séchés ont été retirés et refroidis à température ambiante, broyés dans un moulinex, emballés dans des sacs en aluminium et conservés au réfrigérateur à 4°C jusqu'à utilisation.

II.1.2. Collecte et traitement du riz

Le riz brisé de la variété TOX-3145-TOC-38-2-3 est un riz blanchi provenant de NDOP dans le Nord-ouest du Cameroun (**AfricaRice, 2018**) qui a été acheté au près des meuniers. Les travaux réalisées dans le cadres du projet CIDA en collaboration avec AfricaRice ont montré que la variété Tox-3145-38-2-3 était l'une des plus cultivé dans le pole de Ndop



Photo 3: Les brisures de riz (Eyenga dans cette étude)

II.1.2.1. Production de la farine de riz

Le riz brisé a été acheté dans localité de Ndop, dans la région Nord-ouest du Cameroun. Ce riz a été transporté dans des sacs poreux de 25 kg et acheminé dans le laboratoire. Il a été vanné puis lavé et trempé dans l'eau pendant 8 h. Le riz a été retiré de l'eau et séché à une teneur en humidité de 20%. Il a ensuite été broyé dans un moulin à maïs ordinaire (mouture à sec) puis, sécher complètement jusqu'à ce que la farine obtienne un taux

humidité de 10 –12%. Les farines de différentes fractions granulométriques ont été produites en tamisant la farine de riz avec des tamis de différentes tailles de maille comme décrit par **Ndindeng *et al.* (2015)**. En bref, chaque échantillon a été séparé en trois tailles de particules (grandes = tailles de particules ≥ 1 mm; moyennes = 0,30-0,99 mm; fines $\leq 0,30$ mm) à l'aide de tamis de maille 18 et 50. L'échantillon a d'abord été tamisé avec la taille 18 puis de taille 50. Les particules restant dans le tamis 18 étaient grandes, tandis que celles qui restaient dans le tamis 50 étaient de taille moyenne, et celles qui passaient à travers le tamis 50 étaient les fines particules.

II.2. Formulation des biscuits à base de la farine de riz et de la poudre du safou acide

II.2.1. Autres ingrédients

➤ La farine de blé

La farine de blé utilisée dans la production de nos biscuits est une farine de blé tendre type 65 importée et conditionnée dans les sachets de 10kg acheté du commerce.

➤ Le sucre

Le sucre utilisé est un sucre blanc cristallisé, conditionné dans les sacs de 25kg acheté dans le commerce.

➤ La matière grasse

La matière grasse utilisée est une margarine achetée dans le commerce.

➤ La levure chimique

La levure chimique utilisée est celle provenant du commerce.

➤ Le sel

Le sel utilisé est un sel fin iodé du commerce produit au Cameroun.

➤ Les œufs

Les œufs utilisés sont produits au Cameroun et achetés dans le commerce.

➤ Les biscuits sablés coco

Les biscuits sablés coco ont été achetés dans un super marché de la place

II.2.2. Préparation de la première formulation

Dans une bassine, ont été introduits 300g de beurre. Le beurre a été battu jusqu'à obtention d'un beurre ramolli. Au beurre ramolli ont été ajoutés 300g de poudre de safou et 400g de sucre et ont été mélangé jusqu'à fusion totale du sucre. Dans un plateau, ont été mélangés 600g de farine riz, 10g de levure et 4g de sel. Puis, incorporé à la mixture beurre-sucre-safou précédente. Tout doucement, tous les ingrédients ont été mélangé parfaitement avec une spatule afin d'homogénéiser la pâte puis ont été ajoutés à la pâte, 400g d'œufs (de jaune et de blanc d'œuf) suivi de 20g l'arôme (vanille) tout en continuant l'homogénéisation. Enfin, la pâte a été introduite dans le moule selon la forme désirée sur un plateau au préalable imbibé de beurre. Lorsque le plateau a été saturé et a été introduit dans le four. Une cuisson pendant 20-25 minutes à 160°C a été réalisée. Les biscuits ont été enlevé du plateau et ont été déposés dans un récipient propre pour être refroidit.

II.3. Modélisation et prédiction de la formulation des biscuits de riz au safou.

II.3.1. Choix du plan d'expérience

Le plan d'expérience retenu dans le cadre de ce travail a été le plan de Doehlert. Ce plan a été choisi pour son domaine expérimental sphérique avec une uniformité dans le remplissage de l'espace, sa capacité à explorer l'ensemble du domaine, et son potentiel pour permettre une étude séquentielle où les expériences peuvent être réutilisées lorsque les limites n'ont pas été bien choisies au départ (Bensalah *et al.*, 2010).

II.3.2. Variables et domaine de variation

Les facteurs retenus sur les bases des essais préliminaires sont : la quantité de farine de blé, la quantité de farine de riz, la quantité de margarine et la quantité de poudre de safou. Le nombre minimal d'essais à réaliser (N) via le plan de Doehlert utilisé dans le cadre de ce travail a été défini par la formule $N \geq K^2 + K + 1$. Où K représente le nombre de facteurs.

Ainsi, pour $K = 4$, le nombre d'expériences à réaliser est de 21 essais. Le plan d'expérience a été répété une fois.

Tableau 7: Facteurs et domaine de variation

| Essais | Blé | Riz | Margarine | Safou |
|-----------|------|---------|-----------|--------|
| Biscuit1 | 0 | 600 | 300 | 300 |
| Biscuit2 | 1200 | 600 | 300 | 300 |
| Biscuit3 | 300 | 80,38 | 300 | 300 |
| Biscuit4 | 900 | 1119,61 | 300 | 300 |
| Biscuit5 | 300 | 1119,61 | 300 | 300 |
| Biscuit6 | 900 | 80,38 | 300 | 300 |
| Biscuit7 | 300 | 426,79 | 55,05 | 300 |
| Biscuit8 | 900 | 773,2 | 544,94 | 300 |
| Biscuit9 | 300 | 773,2 | 544,94 | 300 |
| Biscuit10 | 900 | 426,79 | 55,05 | 300 |
| Biscuit11 | 600 | 253,58 | 544,94 | 300 |
| Biscuit12 | 600 | 946,41 | 55,05 | 300 |
| Biscuit13 | 300 | 426,79 | 238,76 | 62,82 |
| Biscuit14 | 900 | 773,2 | 361,23 | 537,17 |
| Biscuit15 | 300 | 773,2 | 361,23 | 537,17 |
| Biscuit16 | 900 | 426,79 | 238,76 | 62,82 |
| Biscuit17 | 600 | 253,58 | 361,23 | 537,17 |
| Biscuit18 | 600 | 946,41 | 238,76 | 62,82 |
| Biscuit19 | 600 | 600 | 116,28 | 537,17 |
| Biscuit20 | 600 | 600 | 483,71 | 62,82 |
| Biscuit21 | 600 | 600 | 300 | 300 |

II.3.3. Réponses mesurées

Ces réponses ont été mesurées par le biais d'une analyse sensorielle. Les différents biscuits ont été produits et soumis à un panel formé de 8 personnes pour évaluation sensorielle. L'évaluation sensorielle des biscuits était réalisée 24h après la production de chaque formulation, par un panel de 8 personnes (21- 45 ans) formées et ayant signées les fiches de consentement. Les paramètres appréciés étaient la granulométrie, le caractère fondant, la forme, la croustillance, la dureté, l'arôme et la qualité globale. La réponse générée par cette matrice est décrite par l'équation générale du modèle de second degré avec interaction de la forme :

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} X_j^2 + \sum \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Avec β_0 : la constante, ε : l'erreur et les β_j , β_{jj} et β_{ij} sont les coefficients du modèle.

II.3.4. Validation des modèles

Le tableau ci-dessous présente les éléments de validation des modèles. Ces éléments sont le coefficient de détermination R^2 et le R^2 ajusté, l'Analyse Absolue de Déviation de la Moyenne (AADM) et l'application du facteur polarisé et du facteur d'exactitude (Ross, 1996). Associé à cela, le test d'inadéquation a été utilisé. Le modèle sera considéré comme adéquat pour les données observées lorsque la probabilité du test de manque d'adéquation issue de l'ANOVA est supérieure ou égale à 0,05.

Tableau 8: Paramètres de validation des modèles

| Eléments | Formules de calcul | Conditions de validation | Références |
|------------------------------------|---|---|-------------------------|
| AADM | $AADM = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{ Y_{i,obs} - Y_{i,cal} }{Y_{i,obs}} \right) \right]}{n}$ | $AADM \rightarrow 0$ | (Bas et Boyaci, 2007) |
| Facteur polarisé (Bf) | $Bf = 10^{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log\left(\frac{Y_{i,cal}}{Y_{i,obs}}\right)}$ | $0,75 < Bf < 1,25$ | (Ross, 1996) |
| Facteur polarisé d'exactitude (Af) | $Af = 10^{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \log\left(\frac{Y_{i,cal}}{Y_{i,obs}}\right) \right }$ | $0,75 < Af < 1,25$ | (Ross, 1996) |
| R^2 et R^2 ajusté | $R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i,cal} - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{i,exp} - \bar{Y})^2}$ | $R^2 \geq 80$ et $R^2 \text{ ajusté} \geq 80$ | (Joglekar et May, 1987) |

II.3.5. Optimisation multiréponse

Une superposition des différentes courbes iso réponses a été réalisée et la zone optimale a été définie.

II.3.6. Désirabilité

La désirabilité est largement utilisée dans l'optimisation de réponses multiples en raison de sa simplicité. Elles supposent que la variabilité de la variable de réponse est un tableau; elles se concentrent donc principalement sur l'optimisation des réponses moyennes. L'approche de la désirabilité convertit chaque variable de réponse en une fonction de désirabilité individuelle. La fonction de désirabilité individuelle peut être considérée comme la fonction d'utilité allant de 0 à 1. Lorsqu'une variable de réponse atteint une valeur cible, la valeur de la fonction de désirabilité devient 1 et la valeur de la fonction de désirabilité diminue au fur et à mesure que la variable de réponse s'écarte de la valeur cible.

II.4. Détermination des caractéristiques physicochimiques de la poudre de safou et leurs huiles.

II.4.1. Détermination des propriétés physiques des poudres de safou acide

II.4.1.1. Détermination du pH

Des échantillons de poudre de safou acide et non acide (5g) ont été pesés en triple dans un bêcher, mélangé à 20 ml d'eau distillée. La suspension résultante a été agitée pendant 5 minutes et laissée reposer pendant 10 minutes. Le pH de la phase aqueuse a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre étalonné (Benesi, 2005).

II.4.1.2 Mesure de la couleur

Principe

La mesure de la couleur a été faite par réflectance en utilisant un colorimètre portable qui enregistre le pourcentage de lumière réfléchi des trois composantes du système de couleur de base en trois dimensions L^* , a^* et b^* de la « **Commission Internationale de l'Eclairage** » (1976). L correspond à la clarté ou luminosité suivant une échelle allant de 0 à 100. La valeur 100 représente le blanc ou réflexion totale et la valeur 0 représente le noir ou absorbance totale. La composante a représenté la chromaticité sur une échelle de 600 niveaux qui correspond au rougissement (299 valeurs positives) et au verdissement (300 valeurs négatives) en passant par le gris (0). La composante b représente la chromaticité sur une échelle de 600 niveaux qui correspond au jaunissement (299 valeurs positives) et au bleuissement (300 valeurs négatives) en passant par le gris (0).

Mode opératoire

Les échantillons des poudres de safou acides, non acides sont étalés sur un fond blanc. L'orifice de mesure du colorimètre (lecteur Minolta Color CR-10) est placé au dessus de l'échantillon dont la surface, avec un arc xénon pulsé de manière diffuse, est éclairée par un flash d'une seconde. La lumière réfléchi par l'échantillon est analysée et le pourcentage de réflexion transformé en un système à trois dimensions L^* , a^* , b^* dont les valeurs s'affichent sur l'écran du colorimètre. Celles-ci correspondent aux coordonnées cartésiennes à la luminosité encore appelée clarté (L^*), la chromaticité rouge-vert (a^*) et la chromaticité jaune bleu (b^*) (Navneet et Shitij, 2011; Ndindeng *et al.*, 2015).

II.4.2. Détermination de la valeur nutritive des poudres de safou acide et non acide

II.4.2.1. Détermination de la teneur en eau

La détermination de la teneur en eau (TE) a été effectuée par la méthode décrite par **A.O.A.C (1980)**.

Principe

Elle est basée sur la perte en masse des échantillons après étuvage à 105°C, jusqu'à élimination complète d'eau libre et de la matière volatile et obtention d'une masse constante.

Mode opératoire

Le creuset séché à l'étuve a été refroidi dans un dessiccateur et taré (M0). Une masse ± d'échantillon de 5g a été introduite dans le creuset (M1) et séchée à l'étuve à 105 ± 2°C pendant 24h jusqu'à obtention d'une masse constante. L'échantillon a été refroidi dans le dessiccateur et pesé (M2).

La teneur en eau a été calculée suivant la relation :

$$\text{Teneur en eau} = \frac{M1-M2}{M1-M0} * 100$$

M0 : poids du creuset à vide

M1 : poids du creuset contenant de l'échantillon

M2 : Poids de l'ensemble creuset et produit après séchage

II.4.2. 2.Détermination de la teneur en lipides totaux

Les lipides totaux ont été déterminés par la méthode décrite par **A.O.A.C (1980)**.

Principe

Elle est basée sur la solubilité différentielle que présentent les lipides dans certains solvants organiques notamment l'hexane ou l'éther de pétrole. L'extraction des lipides s'effectue à chaud dans l'hexane par reflux continu pendant 8h et les lipides extraits après évaporation du solvant sont récupérés et pesés.

Mode opératoire

Une masse de 5g de poudre d'échantillon (P₀) a été emballée dans une cartouche de cellulose. L'ensemble a été introduit dans l'extracteur de l'appareil de Soxhlet monté sur un

ballon taré et contenant 3 billes de verre (P₁). 200 mL d 'hexane, solvant utilisé, est introduit dans l'extracteur jusqu'à siphonage. Environ 30 mL supplémentaire de solvant ont été ajoutés dans l'extracteur jusqu'à la moitié du niveau du siphon. Le réfrigérant a été monté sur l'extracteur et le ballon a été chauffé à reflux pendant 8h. Le contenu du ballon est concentré dans un évaporateur rotatif, séché à l'étuve à 65°C pendant 30mn refroidit dans un dessiccateur et pesée (P₂). La teneur en lipides est donnée par la relation suivante :

$$\text{Teneur en lipides} = \frac{P_2 - P_1}{P_0} * 100$$

II.4.2.3. Détermination de la teneur en sucres totaux

Les sucres sont préalablement extraits selon la méthode de Cerning et Guilbot (1973) et sont ensuite dosés suivant la méthode décrite par Montreuil *et al.*, (1981).

Principe

Les glucides de faibles masses moléculaires sont extraits à chaud dans les trois échantillons de poudre de safou et de biscuits dans l'éthanol à 80% (v / v). Les monomères ou les oligosaccharides ayant des résidus de moins de 10 unités de glucose sont solubles tandis que les polysaccharides et les fibres sont éliminés par filtration. En milieu acide et à chaud, l'antrone réagit avec les oses pour produire un complexe de couleur verte qui absorbe à 623 nm.

Extraction

Précisément 0,5 g d'échantillon ont été introduits dans un ballon et 80 ml d'éthanol à 80% y sont ajoutés. L'ensemble a été chauffé à reflux en agitant à l'aide d'un barreau aimanté pendant 30 minutes après que l'alcool ait commencé à bouillir. La solution refroidie a été transvasée dans une fiole de 100 ml et a été complétée avec l'alcool à 80% jusqu'au trait de jauge. Après filtration avec le papier Whatman N°1, le filtrat a été conservé au réfrigérateur pour le dosage.

Dosage

La solution à l'antrone a été préparée 4 h avant le dosage et a été conservée à l'abri de la lumière. 2 ml de l'extrait alcoolique à une dilution appropriée (10⁻²) a été mélangé avec 5 ml de réactif à l'antrone. L'ensemble a été agité par un vortex et a été placé dans un bain marie bouillant pendant 16 min. La solution a été ensuite refroidie dans un bain d'eau glacée

puis ramenée à la température ambiante. La densité optique a été lue contre un blanc constitué d'éthanol à 80%. Les solutions de glucose de 10, 20, 30, 40 et 50 g / ml ont été utilisées

comme gamme étalon. La teneur en glucides solubles totaux a été calculée suivant la formule suivante :

$$\text{TST} = \frac{\text{DO} \times \text{Fd}}{\text{PentexPE} \times \text{TMS}} * 100$$

Où **TST** = teneur en sucres totaux (g / 100 g MS), **Fd** = facteur de dilution, **DO** = densité optique lue, **PE** = prise d'essai de l'échantillon (g), **TMS** = teneur en matière sèche de l'échantillon.

II.4.2.4. Détermination des fibres brutes

Les fibres brutes sont déterminées par la méthode décrite par **A.O.A.C (1990)**.

Principe

Cette méthode repose sur une succession de digestion de la poudre obtenue du safou par les acides forts et les bases fortes.

Mode opératoire

Une masse de 0,3g de matière sèche délipidée (P₁) a été introduite dans un bécher de 200 ml et 100 ml d'acide sulfurique 0,26 N ont été ajoutés. Le mélange est chauffé et porté à ébullition à 100°C pendant 30 mn, puis filtré à l'aide d'un verre frité préalablement pesé et lavé 3 fois à l'eau distillée. Ensuite, 100 ml de KOH 0,23 N sont ajoutés et l'ensemble a été placé sur une plaque chauffante pendant 30 mn. Le mélange a été filtré et lavé 3 fois à l'eau distillée et 2 fois à l'acétone. Le filtrat a été séché dans le verre frité en porcelaine à 105°C pendant 8h, puis a été laissé à refroidir au dessiccateur et a été pesé (P₂). Le verre frité a été ensuite placé dans un four à 500°C pendant 3h puis, a été refroidi au dessiccateur et a été pesé (P₃).

Soit la teneur en fibres brutes est donnée par l'expression

$$\text{Teneur en fibres brutes} = \frac{\text{P}_2 - \text{P}_3}{\text{P}_1} * 100$$

II.4.2.5. Détermination de la teneur en protéines brutes

La teneur en protéines a été déterminée par la méthode de **Kjeldahl (A.O.A.C, 1980)**.

Principe

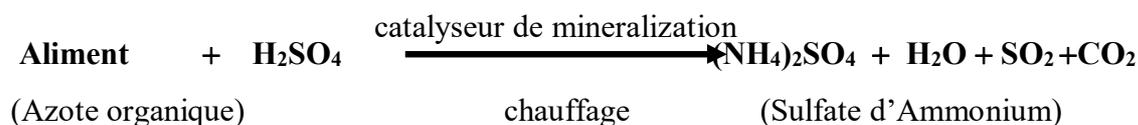
Elle est basée sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, et dosé après déplacement en milieu alcalin et distillation sous forme d'ammonium. Cette teneur en azote (N) est convertie en protéines brutes par la relation $N \times 6,25$; 6,25 étant le facteur de conversion de l'azote en protéines.

Cette méthode comporte trois étapes: la minéralisation, la distillation et la titration.

Mode opératoire

La minéralisation

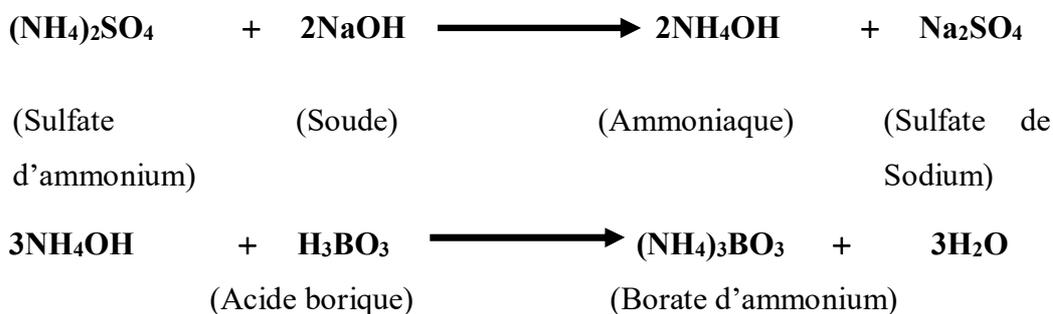
0,2g de matière sèche des safou acide et non acide ont été introduit dans chaque matras de minéralisation avec du peroxyde d'hydrogène (catalyseur de minéralisation) et 2,5 ml d'acide sulfurique concentré ont été ajouté. Le matras a été disposé dans la rame de minéralisation tel que le col du matras soit engagé dans un tube collecteur de fumée et l'ensemble a été chauffé. Le chauffage lent au début pendant 4mn et a été progressivement augmenté afin que les fumées blanches ne traversent pas les 3/4 du col du matras. Le liquide noir sirupeux au début est devenu progressivement brun clair et incolore. L'attaque sulfurique a été poursuivie 4mn après la décoloration du minéralisât puis laissé à refroidir. La minéralisation se traduit par l'équation suivante :



La distillation

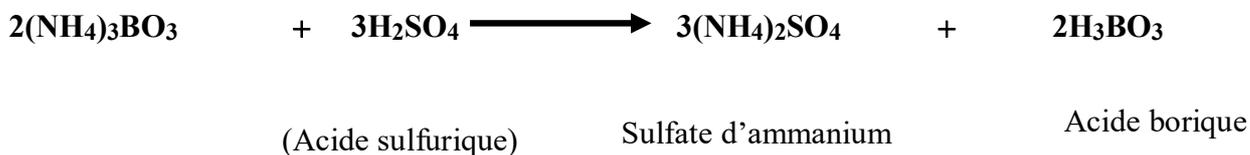
Environ 25ml d'eau distillée ont été ajoutées dans chaque matras puis monté sur l'appareil de distillation type *BUCHI Distillation Unit K-350*. Le passage en milieu alcalin résulte de l'ajout de 75ml de soude 40% avec libération d'ammoniaque qui a été distillé. Un bécher de 250 ml contenant 5ml de solution absorbante (acide borique 4%) et 3 gouttes d'indicateur coloré de Tashiro (coloration rose en milieu acide) ont été placées à la sortie du distillateur. Durant cette distillation qui a duré 2mn environ, l'indicateur de Tashiro de

coloration rose a pris une coloration verte due à la formation du borate d'ammonium. La distillation s'effectue suivant les équations suivantes :



La titration

Le distillat obtenu (borate d'ammonium) a été titré par l'acide sulfurique 0,1N contenue dans une burette de 25ml (0,05 de graduation). Un virage de coloration du vert au rose avec formation du sulfate d'ammonium et régénération d'acide borique a été noté selon l'équation suivante :



Un matras témoin ne contenant pas d'échantillon, mais tous les autres réactifs afin d'évaluer les traces d'azote qui proviennent des réactifs a été soumis au même mode opératoire. L'expression de l'azote total contenu dans chaque échantillon est la suivante :

$$\text{Azote total (\%)} = \frac{0,0014 \times V \times 100}{P} * 100$$

Avec : **P** le poids de la matière sèche minéralisée dans le matras exprimé en g

V le volume en ml d'acide sulfurique (H₂SO₄, 0,1N) correspondant au dosage de l'ammoniac dans la matière sèche réellement pesée.

La teneur en protéines brutes de chaque échantillon s'obtient en multipliant la quantité d'azote par le facteur 6,25 (A.O.A.C, 1980).

$$\text{Protéines brutes (\%)} = \frac{6,25 \times 0,0014 \times V}{P} * 100$$

II.4.2.6. Détermination de la valeur énergétique

La valeur énergétique a été calculé par le facteur de conversion:4,0, 4,0 et 9,0 Kcal/g pour les protéines, les glucides et les lipides selon la méthode de **Afework et al. (2016)**.

$$\text{Energie (Kcal/100gMs)} = 4 * (\text{Teneur en protéines} + \text{teneur en glucides totaux}) + 9 * (\text{teneur en lipides totaux})$$

II.4.2.7. Détermination des acides aminés essentiels et non essentiels

Principe

Les teneurs en acides aminés ont été déterminé par analyseur biochrom 30+. L'échantillon contenant un mélange d'acides aminés est introduit (injecteur automatique réfrigéré) sur la colonne de résine d'échange cationique. Des tampons de différents pH (produits Biochrom) ainsi qu'un gradient de température (four a effet Peltier) permettant de séparer les différents acides aminés.

L'éluant de colonne est melangé à du réactif de ninhydrine passant par un serpentini chauffé à haute température formant avec les acides aminés une coloration directement proportionnelle à la quantité des acides aminés.

Le mélange éluant ou le ninhydrine passe ensuite dans le photomètre. L'absorption lumineuse est mesurée à deux longueurs d'onde 570 et 440 nm. Le signal est alors analysé via le logiciel EZChrom.

Après chaque analyse, la colonne est régénérée par une base forte suivie du tampon N°1 pour équilibrer la colonne avant une prochaine analyse. L'ensemble d'une analyse dure plus de 90min.

La détection limite constructeur est de 9 pico moles d'acide aminé pour un système Ninhydrine.

Extraction des acides aminés totaux

Une masse d'échantillons de 6mg de protéines environ a été introduit dans un tube à hydrolyse. Suivi de 50 µl de Norleucine à 25µmole/mol et le mélange est immédiatement dégazé. Une connection du tuyau de la trompe à vide au système de dégazage a été effectuée et le robinet d'eau a été ouvert au maximum. La bouteille d'azote a été ouvert et la pression de l'azote réglé à 1bar. Tous les hydrolysats dégazés sont placés dans l'appareil à hydrolyse pendant 120 min à 150°C, Ensuite les hydrolysats ont été récupérés et les tubes ont été sortis et refroidis pendant 5min à température ambiante. Pour arrêter la réaction dans le tube, 450 µl de NaOH ont été ajoutés. Le milieu réactionnel a été transférer dans une fiole jaugée de 5ml. Le tube a été rincé avec un tampon de dilution citrate de sodium pH 2,2. Le volume de la fiole a été ajusté à 5ml avec ce tampon. Enfin la filtration a été effectué sur filtre Sartorius 0,45µm.

II.4.2.8. Détermination de la teneur en minéraux : Teneurs en calcium, magnésium, potassium, sodium, cuivre, fer, manganèse, zinc et aluminium.

Principe:

La méthode utilisée est celle décrite par **Horwitz (2000)**. Elle implique une séparation des minéraux de la matrice de l'échantillon par digestion humide de la matière organique. Les minéraux séparés sont dilués dans de l'acide et leur teneur est déterminée par spectrophotométrie d'absorption atomique (Ca, Cu, Mg, Fe, K, Na, Zn, Mn, Al) ou par spectrophotométrie (P).

II.4.2.8.1. Traitement des échantillons.

0,5 g d'échantillon sec a été pesé et introduit dans un tube à digestion de Kjeldhal. 30 ml du mélange HNO₃ (65%)/ HClO₄ (70%) dans les proportions 2/1 y ont été ensuite ajoutés. Le tube fermé est laissé à température ambiante pendant près de 12h pour une prédigestion de l'échantillon. Le tube a été ensuite porté dans le bloc de digestion et la température a été augmentée progressivement jusqu'à 160°C et maintenue ainsi jusqu'à ce que le volume de la solution dans le tube soit réduit de moitié (40 min environ). La température a été de nouveau ramenée à 210°C et maintenue jusqu'à obtenir des fumées blanches de HClO₄ et une présentation incolore de l'extrait (20min environ). Après refroidissement du tube, son contenu

à été filtré (papier filtre Whatman N°54) et le filtrat a été ajouté à 15 ml d'eau désionisée. Le volume finale du filtrat ainsi dilué a été ensuite relevé.

II.4.2.8.1.1. Analyse du Calcium et du Magnésium

Pour la quantification du Ca et du Mg dans chaque échantillon, une dilution 5X du filtrat obtenu précédemment a été réalisée dans une solution de chlorure de lanthanum 0,25%. Les teneurs en Ca et en Mg sont déterminées à 422,7 et 285,2 nm respectivement, à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (Perkin-Elmer 5100 PC) munit d'une lampe à cathode creuse (P809), contre un blanc constitué d'eau désionisée.

La teneur en Ca et en Mg est donnée par l'expression :

$$\text{Ca ou Mg (mg/100g)} = \frac{(\text{C0}) \times \text{volume total (ml)} \times \text{dilution} \times 100}{\text{M} \times 1000}$$

Avec C0 = Concentration de l'élément en mg/l dans l'échantillon obtenue à partir de la droite d'étalonnage, 1000 = conversion du ml en l.

II.4.2.8.1.2. Analyse du Phosphore.

Dans des fioles jaugées de 100ml, 5ml de la solution standard de phosphate (0,2 mg/ml) ou de filtrat obtenu précédemment ou d'eau désionisée (blanc) ont été introduits 10 ml de HNO₃ (6N), 10ml de monovanadate d'ammonium 0,25% puis 10ml de molybdate d'ammonium 5% y ont été ajoutés. Le volume a été ensuite complétée jusqu'au trait de jauge avec de l'eau désionisée. La solution obtenue a été homogénéisée et laissée au repos pendant 15 min. Le complexe coloré jaune de molybdovanadate de phosphore qui se forme est détecté par spectrophotométrie à 400 nm contre un blanc. La teneur en P est donnée par la relation :

$$\text{P (mg/100g)} = \frac{(\text{Absorbance de l'échantillon} \times 1 \times \text{V0} \times 100)}{(\text{Absorbance du standard} \times \text{Vp} \times \text{Masse de l'échantillon})}$$

Avec V0 = volume totale et Vp = volume de l'échantillon dilué.

II.4.2.8.1.3. Analyse du potassium et du sodium.

Pour la quantification du K et le Na dans chaque échantillon, une dilution 5X du filtrat obtenu précédemment a été réalisée dans une solution de CsCl₂ 1%. La teneur en K et en Na

ont été déterminée à 766,5nm et 334,3 nm à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (Perkin-Elmer 5100 PC) munit d'une lampe à cathode creuse (P809), contre un blanc constitué d'eau désionisée.

La teneur en K et Na est donnée par l'expression :

$$\text{K ou Na (mg/100g)} = \frac{(C_0) \times \text{volume total (ml)} \times \text{dilution} \times 100}{M \times 1000}$$

Avec C₀ = Concentration de l'élément en mg/l dans l'échantillon obtenue à partir de la droite d'étalonnage, 1000 = conversion du ml en l.

II.4.2.8.1.4. Analyse du Fer, du Cuivre, du Zinc, du Manganèse et de l'Aluminium.

Un aliquote de filtrat obtenu précédemment est dilué dans de l'eau distillée. Les teneurs en ces différents minéraux sont déterminées à 248,3 (Fe), 213,9 (Zn) , 246 (Mn), 324,7 (Cu) ,351,7 (al) à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (Perkin-Elmer 5100 PC) munit d'une lampe à cathode creuse (P809), contre un blanc constitué d'eau désionisée. La droite d'étalonnage est réalisée à partir des valeurs de l'absorbance des solutions de ces différents minéraux.

La teneur en Fe, Cu, Zn , Mn et de l'Al est donnée par l'expression :

$$\text{Fe, Cu, Mn , Al ou Zn (mg/100g)} = \frac{(C_0) \times \text{volume total (ml)} \times \text{dilution} \times 100}{M \times 1000}$$

Avec C₀ = Concentration de l'élément en mg/l dans l'échantillon obtenue à partir de la droite d'étalonnage, 1000 = conversion du ml en l.

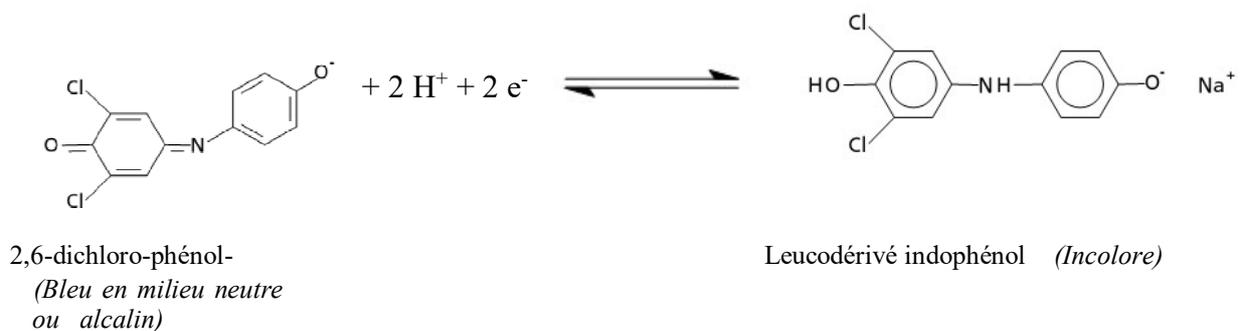
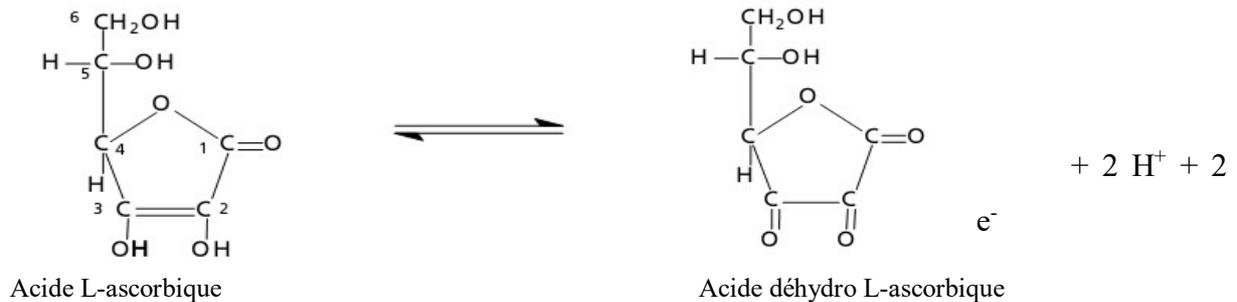
II.4.2.9. Détermination de la concentration en vitamine C

La teneur en vitamine C de la poudre de safou acide et non acide a été déterminé selon la méthode de **Harris et Ray (1935)**.

Principe

La méthode est basée sur la décoloration (reduction du 2-6 dichlorophénol indophénol à pH<3. La solution de 2,6 dichlorophénol indophénol (2,6DCIP) bleu au départ devient rose en milieu acide. Pendant la titration avec une solution ascorbique, elle est réduite en une leuco

base incolore et en même temps l'acide ascorbique est oxydé en acide déhydroascorbique. Cette méthode qui exploite les propriétés reductrices de la vitamine C ne permet donc que le dosage de l'acide ascorbique et non de l'acide déhydroascorbique. En effet en milieu acide ou neutre, c'est-à-dire sous l'influence des oxydants, il y a ouverture de la double liaison C-C et formation d'une α -dïcétone.



Mode Opératoire

Dans une burette a été introduit, la solution d'étalon de vitamine C 1mg/100ml d'acide acétique. Puis dans un bécher, introduire 1 ml de la solution de 2,6 DCIP 0,1g/l dans de l'eau distillée bouillie, une goutte d'acide acétique 5%. La solution bleue au départ devient rose. Puis laisser tomber goutte à goutte le contenu de la burette jusqu'à décoloration totale du contenu du bécher

La teneur en vitamine C du fruit exprimé en mg/100g de poids frais est déterminée par la relation $Q[XV/PV']$

X: Descente de burette de la solution étalon de vitamine C décolorant 1ml de 2,6 DCIP

V: Volume de l'extrait total du fruit

V':Volume de l'extrait réduisant 1ml de 2,6 DCIP

P: Poids de l'échantillon (g)

II.4.3. Détermination de la qualité des huiles des poudres de safou acide, non acide et des biscuits

II.4.3.1. Extraction à froid des huiles

Dans un erlenmeyer de 125ml, ont été introduit une quantité (1,5 g) d'échantillon de poudre de safou, des biscuits et 10ml du mélange CH₂Cl₂/MeOH (2/1 ; v/v). L'erlenmeyer a été porter dans un sonnicateur pendant 20 min. Ensuite, le mélange a été filtrer au travers d'un papier filtre Whatman N°1. Le résidu a été de nouveau extrait dans les mêmes conditions. Les filtrats obtenus ont été mélangés dans une ampoule à décanter. 4 ml de la solution de NaCl (0,73%) ont été ajouté et agité vigoureusement. L'ampoule à décanter a été ensuite laissé au repos pendant au moins 6 heures, jusqu'à ce que le liquide qu'elle contient forme deux couches. La phase inférieure, riche en lipides, a été collectée dans un ballon à fond rond et évaporée à 45°C au moyen d'un évaporateur rotatif. Le résidu sec obtenu a été utilisé pour l'analyse des lipides.

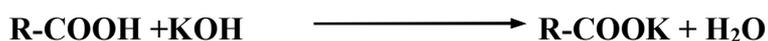
II.4.3.2. Détermination de l'indice d'acide

L'indice d'acide est le nombre de mg de KOH nécessaire pour neutraliser les acides gras libres présents dans 1 g de l'échantillon. La méthode utilisée ici est celle de l'AFNOR (1981).

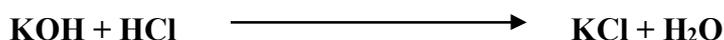
Principe

Elle est basée sur le principe selon lequel, dans un lipide, l'acidité résulte des groupes carboxyliques des acides gras libres. Ces acides gras sont estérifiés par un excès de KOH à température ambiante et le KOH restant est neutralisé par HCl à l'aide d'une titration colorimétrique contre un blanc avec la phénolphtaléine comme indicateur. Les équations sont les suivantes:

Processus de neutralisation:



Processus de titration:



Mode opératoire

Une solution de 500mL d'éthanol - isobutanol 1 / 1 (v/v) est préparée dans une fiole jaugée de 500mL. Un volume de 125mL de la solution précédemment préparé est introduit dans quatre béchers de 500mL et dans les trois premiers, 5g d'huile de safou acide et non acide sont ajoutés au mélange précédent. Ensuite, 2mL de phénolphtaléine, comme indicateur, sont ajoutées dans les 4 béchers et les solutions contenant l'huile de safou sont titrées avec du KOH 0,1 N jusqu'à ce qu'elles virent du jaune au violet. Le même volume de KOH 0,1 N est ajouté dans le bécher contenant l'éthanol-isobutanol et la phénolphtaléine (blanc). Sa couleur vire de l'incolore au rose. A la suite, le KOH restant est titré dans les béchers test et bécher témoin avec HCl 0,1 N. Le point d'équivalence est atteint lorsque l'indicateur repasse à l'incolore dans le tube témoin et au jaune dans les tubes test. L'indice d'acide (IA) est calculé en utilisant la formule ci-dessous:

$$\text{Indice d'acide} = \frac{(M_{\text{KOHtémoin}} - M_{\text{KOHtest}})}{M_{\text{échantillon}}}$$

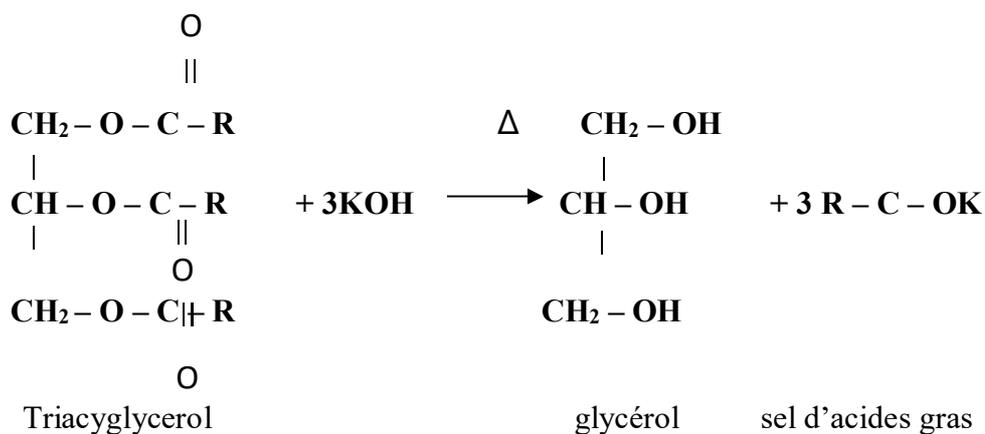
Où $M_{\text{KOH témoin}}$ est la quantité de KOH en mg titrée par HCl dans le bécher témoin ; $M_{\text{KOH test}}$: est la quantité de KOH en mg titrée par HCl dans le bécher test ; $M_{\text{échantillon}}$: est la masse de l'échantillon (huile de safou) en gramme.

II.4.3.3. Détermination de l'indice de saponification

Principe

L'indice de saponification (IS) représente le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaire pour saponifier 1 g de matières grasses dans les conditions spécifiées. La méthode utilisée ici est celle de l'**AFNOR (1981)**. Elle est basée sur le principe que le KOH, à haute température, peut saponifier les triglycérides contenus dans les huiles et neutraliser les acides gras libres dans la même huile. Le KOH restant est alors neutralisé par le HCl à l'aide d'une titration colorimétrique contre un blanc avec la phénolphtaléine comme indicateur. Les équations sont les suivantes:

Processus de neutralisation et de saponification:



Processus de Titration :



Mode opératoire

Le KOH éthanolique 0,5 N est réparti dans deux ballons (chacun recevant 20mL). Des billes en porcelaine sont ajoutées dans chacun des ballons précédents ainsi que 2mg d'huile dans l'un des ballons. Un condenseur à air est fixé autour de chaque ballon et le tout est laissé à ébullition pendant 2 heures au bain-marie. Les ballons sont ensuite refroidis et la phénolphaléine (environ 1 mL) est ajoutée jusqu'à ce que les deux solutions virent au rose. Ensuite, les deux solutions sont titrées avec HCl 1N à l'aide d'une burette. Par échantillons, 3 essais sont effectués et l'indice de saponification déterminé par l'expression suivante:

$$\text{Indice de saponification} = \frac{(V_1 - V_2) \times 56,1 \times 10^6 \times N_{\text{H}^+}}{M}$$

Où $N_{\text{H}^+} = 1\text{N}$; $V_1 =$ Volume du HCl 1N en litre utilisé pour titrer le témoin, $V_2 =$ Volume du HCl 1N en litre utilisé pour titrer l'échantillon, M est la masse de la prise d'essai en mg.

II.4.3.4. Calcul du degré de pureté

Le degré de pureté de l'huile sert à apprécier la pureté de l'huile. Les huiles alimentaires ne devraient pas avoir un pourcentage d'impuretés supérieur à 1%.

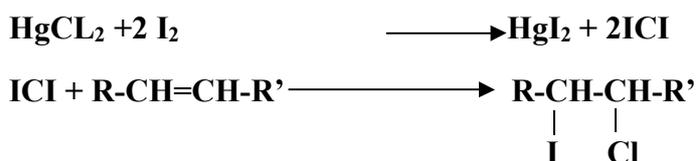
$$\text{Pourcentage d'impuretés (\%)} = \frac{\text{Indice d'acide de l'huile}}{\text{Indice de saponification de l'huile}} \times 100$$

II.4.3.5. Détermination de l'indice d'iode

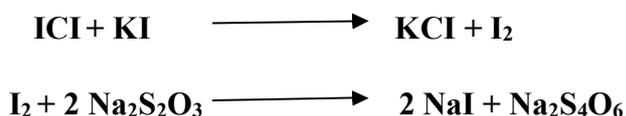
La méthode utilisée ici est celle d'AFNOR (1981).

Principe

Elle est basée sur le principe que l'iode est lié aux doubles liaisons des acides insaturés en présence du chlorure d'iode, qui est obtenu en faisant réagir le chlorure de mercure et d'iode selon les équations :



L'iode en excès est titré par du thiosulfate de sodium de titre connu après addition de l'iodure de potassium dans le milieu réactionnel. La réaction suivante a lieu:



Mode opératoire

Dans une fiole de 100mL, sont introduits respectivement 5mL d'huile de safou, 20 mL de solution alcoolique d'iode, 20 mL de KI et agité vigoureusement pendant 2min. Un volume de 10mL d'eau distillé sont ajouté et titré l'excès d'iode avec le thiosulfate de sodium N/50 dont le titre aura été préalablement déterminé. Ensuite, laisser couler le thiosulfate de sodium jusqu'à ce que la coloration passe du brun au jaune paille-clair. Deux gouttes d'empois d'amidon sont ajoutées. L'amidon montre sa couleur bleue caractéristique indiquant la présence d'iode. L'addition de thiosulfate goutte à goutte jusqu'à la décoloration totale. Un tube contrôle est réalisé dans les mêmes conditions. La solution lipidique sera remplacée par le solvant CCL4.

Soient V_1 =Volume du thiosulfate de sodium en mL utilisé pour titrer l'échantillon,

V_2 = Volume du thiosulfate de sodium en mL utilisé pour titrer le contrôle,

$N=1/150=0,02$ la normalité de thiosulfate de sodium

P =Poids de matière grasse =0,025g d'huile dans 5 ml de CCL_4

$V=V_2-V_1$ =Volume du thiosulfate de sodium correspondant à l'iode fixé par l'acide gras.

Pour l'iode, $M=127$, $n=1$: le poids d'iode fixé par P de matière grasse est donné par la relation:

$$Q = \frac{M}{n} \cdot N \cdot (V_2 - V_1) / 100$$

I_I =Poids, exprimé en g, fixée par 100g de matière grasse est donné par la relation L'indice d'iode est calculé par la formule suivante :

$$\text{Indice d'iode} = \frac{0,127 \times N (V_1 - V_2) \times 100}{P}$$

II.4.4. Détermination des caractéristiques physiques, sensorielles et la valeur nutritionnelle des biscuits

II.4.4.1. Les types de biscuits

Tous les biscuits ont été produits selon une formulation provenant de la zone optimale (tableau 9) et ainsi que le biscuit optimisé. Trois types de biscuits ont été produits avec la farine de riz de différentes granulométries (larges, moyennes et fines particules). Ils ont été utilisés pour produire des biscuits de riz sablé, légèrement sablé et non sablé (RB100), respectivement. Ensuite 6 types de biscuits ont été produits avec :

- Blé100% (BB-100)
- Riz 100% (RB-100)
- Riz-blé 50% (BRB-50)
- Riz-blé au safou acide avec la farine de riz fine (BRBSA-50%)
- Riz-blé au safou non acide avec la farine de riz fine (BRBSNA- 50).

Tableau 9: Proportions des ingrédients utilisés pour produire les biscuits.

| Ingrédients | Types de biscuits | | | | | |
|---------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|---|---|
| | Blé (BB-100) | Riz (BR-100) | Riz safou (BRS-100) | Riz-blé (BRB 50%) | Riz-blé safou acide (BRBSA-50) | Riz-blé au safou non acide (BRBSNA-50) |
| Farine de riz (g) | 0 | 1200 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| Farine de blé (g) | 1200 | 0 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| Margarine(g) | 600 | 600 | 480 | 600 | 480 | 480 |
| Sucre(g) | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| Oeuf (g) | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| Levure(g) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Sel (g) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Arome (vanille) (g) | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Poudre de safou (g) | 0 | 0 | 120 | 0 | 120 | 120 |

II.4.4.2. Paramètres physiques des biscuits

II.4.4.2.1. Mesure de la couleur

La couleur a été déterminée selon la méthode ultérieurement décrite (II.4.1.2) en page 82.

L'intensité de la couleur (C) des biscuits a été évaluée selon cette équation :

$$\text{Intensité de la couleur}(C) = \sqrt{a^2 + b^2}$$

II.4.4.2.2. Granulométrie

La taille des particules a une influence sur les propriétés physique et sensorielle des biscuits. Il est donc important de bien connaître les caractéristiques granulométriques des biscuits pour comprendre et maîtriser tous leurs appréciations.

L'évaluation de la granulométrie a été effectuée avec les biscuits ayant différentes fraction granulométriques (large moyenne et fine). Les tamis de mailles différentes ont été aux préalables pesés à vide (m_0). Ensuite, 125g de biscuits de riz de chaque portion a été soumise à un broyage dans un mortier en porcelaine, 50g de chaque échantillon ont été introduit dans un tamis, puis incorporé dans une tamisette (une batterie de tamis en ordre décroissant d'ouverture de mailles : 1400, 1000, 500 et 250 μ m). Le tamisage est effectué par vibration électrique (amplitude=1,5mm, temps=3min) jusqu'à arrêt de la descente des particules. Les tamis sont pesés avec le refus (m_1) 0.01g près à l'aide d'une balance technique SATORIUS et sont rapportés sur la quantité d'échantillon totale pour déterminer la distribution granulométrique.

II.4.4.2.3. Dureté

L'analyse de la dureté a été effectuée grâce à un instron (model=2519-104, capacité=500N, Vitesse=5mm/min). Chaque biscuit a été posé sur une cuve et une force (N) a été introduite, jusqu'à l'obtention d'une première cassure. Ensuite, la dureté et la cohésion ont été relevées.

II.4.4.3. Analyse sensorielle

II.4.4.3.1. Objectif et principe

L'analyse sensorielle se définit comme étant une méthode sensible permettant d'évaluer les caractéristiques sensorielles perçues sur un ou plusieurs produits par l'instrument de l'étude qui est l'Homme. L'objectif de ce test est d'évaluer les huit types de biscuits, parmi lesquelles les biscuits de riz (BR-100%), les biscuits de riz au safou (BRS100%) effectué avec différentes granulométries et enfin de comparer les biscuits de riz-blé (BRB-50%) et les biscuits de riz-blé au safou (BRBSA-50%) afin d'en déduire celle la plus appréciée.

L'épreuve repose sur le test descriptif (ou test de différence), à échelle structurée au cours duquel, les juges naïfs par rapport aux produits à évaluer, et entraînés devraient être capables d'apprécier les échantillons codés de façon aléatoire.

II.4.4.3.2. Modalités et déroulement de l'épreuve

L'analyse sensorielle a été réalisée par 12 panélistes volontaires dont 4 hommes et 8 femmes âgés entre 22 et 42 ans du Laboratoire de Technologie Agroalimentaire de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD). Ce jury était composé d'étudiants du cycle supérieur (des stagiaires et Doctorants) et des collègues de l'IRAD. Les attributs sensoriels comme intensité de l'arôme, des saveurs de bases (sucre, salé, amer, acide), la texture (fondant, granuleux, gras, friable, croustillant) et la qualité globale ont été évalués par un panel de dégustateur formé en utilisant une échelle d'évaluation à six points. Les panelistes offraient une échelle d'appréciation allant de 0(absent)-5(très prononcé) pour l'intensité des saveurs, des arômes et de la texture. Une échelle à six points allant de 0(très désagréable)-5(très agréable) pour l'évaluation de la qualité globale des biscuits de riz-blé simples et les biscuits de riz au safou en fonction des différentes granulométries. En effet, 3 biscuits étaient déposés dans un plat en polystyrène blanc. Ces plats portant un code aléatoire et des fiches de réponse sur lesquelles leurs impressions y devraient être notées ont été présentés aux 12 juges volontaires.

II.4.4.4. Détermination de la valeur nutritive des biscuits

Les biscuits ont été produits et caractérisés. La caractérisation a consisté à déterminer les propriétés nutritionnelles (la teneur en eau, les lipides, les glucides, les protéines, les acides aminés, les fibres et la valeur calorifique) selon les méthodes précédemment décrites

dans les sections suivantes (II.4.2.1., II.4.2.2., II.4.2.3., II.4.2.4., II.4.2.5., II.4.2.6.) indiquées en pages 48-54. Le dosage des minéraux a été effectué selon la méthode décrite II.4.2.7 en pages 83-89.

II.5. Stabilité des biscuits dans les emballages polypropylène et aluminium

Les biscuits fabriqués à partir de la farine de blé, la farine de riz et de la poudre de safou (BB-100%), riz (RB-50%), riz safou (RSB-100%), riz-blé (BRB-50%), riz-blé au safou acide (BRBSA-50%) et riz-blé safou non acide (BRBSNA-50%) ont été emballés dans des sachets en aluminium (complexe 2 aluminium, polypropylène et polyéthylène: 90µm) et en polypropylène (30µm) en présence d'oxygène, puis stockés pendant 5 mois dans des conditions ambiantes (T = 25 ° C, HR = 60%). Chaque mois pendant la période de stockage, des échantillons ont été prélevés pour évaluer la dureté, la couleur, la humidité, l'indice de peroxyde, la teneur en malondialdéhyde.

L'analyse de la couleur et la dureté ont été évalué comme décrit précédemment dans les paragraphes II.4.1.2 et II.4.4.2.3 sont indiquées en pages 82.

II.5.1. Humidité

Principe

L'humidité a été déterminée par un testeur d'humidité intelligent LDS-1G, en principe le test d'humidité permet de déterminer l'humidité présente dans l'aliment.

Mode opératoire

Elle a consisté à verser échantillon dans la boîte d'échantillon jusqu'à ce qu'il atteigne le bord inférieur de l'entonnoir, à titre de mesure. La cartouche d'échantillon a été placée sur ouverture du capteur. La cartouche d'une main a été tenue et appuyé légèrement sur interrupteur de la cartouche jusqu'à ce que tout l'échantillon tombe uniformément dans le capteur, l'instrument commence l'analyse automatiquement, après plusieurs fois de brillance du point de base, la valeur d'humidité sera affichée. Fermez la porte de la cartouche, versez les échantillons dans le capteur.

II.5.2. Indice de peroxyde

Extraction à froid des lipides

L'extraction à froid de lipides des biscuits a été réalisée comme énoncé dans la partie méthodologie (II.4.3.1.) en page 93.

Principes

La méthode utilisée est celle de l'agence française de normalisation (AFNOR., 1981) elle est basée sur le traitement de la matière grasse en solution avec acide acétique et le chlorure de méthylène par une solution de KI, et la titration de l'iode libérée par une solution de thiosulfate de sodium 0,01N.

Mode opératoire

Dans un erlenmeyer a été pesé 1 g d'huile de 100ml et dissout avec 10 ml de chlorure de méthylène, 15 ml d'acide acétique concentré ont été ajoutés puis 1 ml d'iodure de potassium saturé. Le tube a été fermé, remué et laissé dans le noir pendant 5min. Puis a été ajouté 75 ml d'eau distillée qui ont été agités énergiquement et titrés rapidement avec une solution de thiosulfate de sodium 0,01N. Deux gouttes de thiodem ont été ajoutées jouant ainsi le rôle d'indicateur coloré. Un tube contrôle a été réalisé sous les mêmes conditions cependant la solution d'iode a été remplacée par le solvant chlorure de méthylène trois essais ont été réalisés pour chaque échantillon.

Expression des résultats

Soit N la normalité du thiosulfate de sodium $N = 0.01$

V_e = volume du thiosulfate en ml utilisé pour doser l'échantillon

V_c = volume du thiosulfate en ml utilisé pour doser le contrôle

$V = V_e - V_c$ = Volume de l'échantillon - Volume du contrôle

E = poids de l'huile

IP = nombre de μg actifs de peroxyde contenu dans 1g de matière grasse est donnée par :

$$IP = 1000VN/E$$

$$IP = 10(V_e - V_c) / E$$

II.5.3. Dosage du malondiadehyde

Principe

Les composés carbonylés à instar du Malon dialdéhyde(MDA) issu de la décomposition des hydro peroxydes réagissent avec acide Thio barbiturique (TBA) pour donner des chromophores de couleur rose absorbant à 532nm (Yagi,1976).

Mode opératoire

Des volumes de 100µl d'échantillon, 400µl de réactif de TBA ont été introduits dans des tubes à essai en verre, puis fermés hermétiquement. Le mélange a été chauffé au bain marie à 100°C pendant 15min puis refroidis dans un bain d'eau froide pendant 30min en laissant les tubes ouverts pour favoriser l'évaporation des gaz formées lors de la réaction.

Après centrifugation a 1500g pendant 5min, la DO du surnageant a été lue à 532nm. La concentration du TBARS est déterminée en utilisant le coefficient d'extinction moléculaire du MDA $\epsilon=1,53 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

Expression des résultats

La concentration plasmatique du MDA est déterminé en utilisant la formule de Beer Lambert $DO=\epsilon lc$. Le coefficient d'extinction moléculaire du MDA ; $\epsilon=1,53 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, $l=1\text{cm}$ concentration de mda exprimés en $\mu\text{mol} / l = do/\epsilon c$.

II.6. Analyse statistique

Toutes les réponses ont été mesurées trois fois et les valeurs sont exprimées sous formes de moyennes. Les données obtenues ont été soumises à une analyse de variance et une analyse de régression en utilisant le logiciel Minitab version 14.13. afin de déterminer les conditions optimales qui satisfont toutes les réponses mesurées, la méthodologie des surfaces de réponses a été utilisée. Une optimisation multi-réponses a été effectuée en utilisant le logiciel XLSTAT Premium version 2020.1.2 (Addinsoft, 2020). A cet effet, la fonction désirabilité a été utilisée. Les graphiques radar ont été générés dans le logiciel Excel 2018 (Office 365, Microsoft Corp.) à partir des résultats de l'évaluation sensorielle pour illustrer les différences d'attributs entre les biscuits formulés en fonction des différentes granulométries et de la fortification safou. Une analyse de variance (ANOVA) avec le test de comparaison par paire de Fisher ont été effectués pour déterminer les différences entre la composition nutritive de la poudre de safou sèche et des biscuits. Le test de Duncan été utilisé pour étudier l'évolution du temps de stockage, du type de biscuits et de l'emballage sur la dureté, la couleur(la clarté), l'humidité, l'indice de peroxyde, le taux de malondialdéhyde..

CHAPITRE III: RÉSULTATS

III. 1. Optimisation des paramètres sensoriels des biscuits

Le tableau 10 présente la matrice d'expérimentation avec les valeurs réelles des facteurs soumis à variation et les différentes réponses qui ont été mesurées. Une observation rapide de ce tableau montre une variation des paramètres sensoriels des biscuits mesurés. Ce qui suggère l'impact des facteurs que sont la farine de blé, de riz, la margarine et la poudre de safou sur le développement de la qualité sensorielle des biscuits.

Tableau 10: Effets des facteurs sur la granulométrie, le caractère fondant, la forme, la croustillance, la dureté, l'arôme et la qualité globale des biscuits

| Essais | Blé | Riz | Margarine | Safou | Granulométrie | Fondant | Forme | Croustillance | Dureté | Arôme | Qualité globale |
|-----------|------|---------|-----------|--------|---------------|---------|-------|---------------|--------|-------|-----------------|
| Biscuit1 | 0 | 600 | 300 | 300 | 4,06 | 1,62 | 2,87 | 3,25 | 2,18 | 3,43 | 2,75 |
| Biscuit2 | 1200 | 600 | 300 | 300 | 2,93 | 3,25 | 1,06 | 4,12 | 3,68 | 2,31 | 2,37 |
| Biscuit3 | 300 | 80,38 | 300 | 300 | 3,31 | 2,43 | 3,25 | 2,75 | 2,31 | 3,43 | 3,18 |
| Biscuit4 | 900 | 1119,61 | 300 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Biscuit5 | 300 | 1119,61 | 300 | 300 | 3,75 | 2,65 | 2,9 | 3,1 | 2,55 | 2,65 | 2,35 |
| Biscuit6 | 900 | 80,38 | 300 | 300 | 3,77 | 1,94 | 2,36 | 2,5 | 2,66 | 3,05 | 2,55 |
| Biscuit7 | 300 | 426,79 | 55,05 | 300 | 3,83 | 1,66 | 3,05 | 3,72 | 3,61 | 3 | 2,8 |
| Biscuit8 | 900 | 773,20 | 544,94 | 300 | 4,22 | 2,72 | 2,83 | 2,66 | 2,5 | 2,72 | 2,66 |
| Biscuit9 | 300 | 773,20 | 544,94 | 300 | 4,25 | 2,8 | 2,6 | 2,3 | 1,8 | 2,79 | 2,83 |
| Biscuit10 | 900 | 426,79 | 55,05 | 300 | 3,66 | 1,83 | 3,44 | 4,11 | 4,16 | 3,27 | 3,27 |
| Biscuit11 | 600 | 253,58 | 544,94 | 300 | 4,16 | 2,27 | 2,83 | 2,83 | 2,44 | 3,33 | 2,55 |
| Biscuit12 | 600 | 946,41 | 55,05 | 300 | 2,88 | 2,44 | 2,55 | 3,88 | 3,94 | 2,57 | 2,77 |
| Biscuit13 | 300 | 426,79 | 238,76 | 62,82 | 2,55 | 2,66 | 3,55 | 4 | 2,27 | 3,33 | 3,80 |
| Biscuit14 | 900 | 773,20 | 361,23 | 537,17 | 3,94 | 3,27 | 3 | 1,66 | 1,88 | 2,72 | 2,61 |
| Biscuit15 | 300 | 773,20 | 361,23 | 537,17 | 4 | 2,38 | 2,44 | 1,44 | 1,66 | 2,72 | 2,16 |
| Biscuit16 | 900 | 426,79 | 238,76 | 62,82 | 3,22 | 2,11 | 3,38 | 4,11 | 3,88 | 3,43 | 3,92 |
| Biscuit17 | 600 | 253,58 | 361,23 | 537,17 | 3,77 | 2,44 | 2,88 | 2,16 | 2,05 | 3,27 | 2,33 |
| Biscuit18 | 600 | 946,41 | 238,76 | 62,82 | 3,77 | 2,14 | 3,38 | 3,88 | 3,72 | 2,77 | 3,08 |
| Biscuit19 | 600 | 600 | 116,28 | 537,17 | 3,88 | 2,61 | 2,83 | 2,75 | 2,83 | 2,5 | 2,2 |
| Biscuit20 | 600 | 600 | 483,71 | 62,82 | 4,05 | 2,3 | 2,83 | 4,22 | 2,72 | 3,11 | 3,83 |
| Biscuit21 | 600 | 600 | 300 | 300 | 4,05 | 2,27 | 3,47 | 3,5 | 2,44 | 2,94 | 2,5 |

III.1.1. Proposition et validation des modèles

III.1.1.1. Proposition des modèles

Afin d'expliquer les variations des différentes réponses expérimentales, un modèle polynomial de second ordre a été généré. Les paramètres sensoriels mesurés sont définis par les modèles suivants :

Granulométrie =

$$0,145 + 0,003166X_1 + 0,009644X_2 - 0,003980X_3 + 0,005310X_4 - 0,000002X_1^2 - 0,000004X_2^2 + 0,000002X_3^2 - 0,000003X_4^2 - 0,000007X_1X_2 + 0,000005X_1X_3 + 0,000001X_1X_4 + 0,000002X_2X_3 - 0,000005X_2X_4 + 0,000000X_3X_4$$

$$\text{Caractère fondant} = 2,266 - 0,00101X_1 + 0,00468X_2 - 0,00051X_3 - 0,00827X_4 + 0,00000X_1^2 - 0,00000X_2^2 + 0,00000X_3^2 + 0,00000X_4^2 - 0,00000X_1X_2 + 0,00000X_1X_3 + 0,000001X_1X_4 - 0,00000X_2X_3 + 0,00000X_2X_4 + 0,000000X_3X_4$$

$$\text{Forme} = 3,552 + 0,00402X_1 + 0,00462X_2 - 0,00570X_3 - 0,00626X_4 - 0,00000X_1^2 - 0,00000X_2^2 - 0,00000X_3^2 - 0,00000X_4^2 - 0,00000X_1X_2 + 0,00000X_1X_3 + 0,000000X_1X_4 + 0,000000X_2X_3 - 0,000000X_2X_4 + 0,000001X_3X_4$$

$$\text{Croustillance} = 1,148 + 0,00021X_1 + 0,01144X_2 - 0,00003X_3 + 0,00102X_4 + 0,00000X_1^2 - 0,00001X_2^2 + 0,00000X_3^2 - 0,00000X_4^2 - 0,00000X_1X_2 + 0,00000X_1X_3 + 0,000000X_1X_4 - 0,000000X_2X_3 - 0,000000X_2X_4 - 0,000000X_3X_4$$

$$\text{Dureté} = 2,108 + 0,00140X_1 + 0,00806X_2 - 0,01133X_3 + 0,00025X_4 + 0,00000X_1^2 - 0,00000X_2^2 + 0,00001X_3^2 + 0,00000X_4^2 - 0,00000X_1X_2 + 0,00000X_1X_3 - 0,000000X_1X_4 - 0,000000X_2X_3 - 0,00001X_2X_4 - 0,000000X_3X_4$$

$$\text{Arôme} = 3,636 + 0,00058X_1 + 0,00426X_2 - 0,00378X_3 - 0,00512X_4 - 0,00000X_1^2 - 0,00000X_2^2 + 0,000000X_3^2 + 0,000000X_4^2 - 0,000000X_1X_2 + 0,000000X_1X_3 + 0,0000000X_1X_4 - 0,0000000X_2X_3 - 0,0000000X_2X_4 - 0,000001X_3X_4$$

$$\text{Qualité globale} = 5,917 - 0,00016X_1 + 0,00192X_2 - 0,00632X_3 - 0,01347X_4 + 0,00000X_1^2 - 0,000000X_2^2 + 0,000001X_3^2 + 0,000001X_4^2 - 0,000000X_1X_2 - 0,000000X_1X_3 + 0,0000000X_1X_4 + 0,0000000X_2X_3 + 0,0000000X_2X_4 + 0,000001X_3X_4$$

Avec X_1 =quantité de blé, X_2 =quantité de riz, X_3 =quantité de margarine et X_4 =quantité de safou.

Ces différentes équations peuvent être réécrites ainsi en ne considérant que les coefficients significatifs tels qu'observé dans les tableaux XI, XII, XIII, XIV:

$$\text{Granulométrie} = 0,145 + 0,003X_1 + 0,009X_2 + 0,003X_3 + 0,005X_4 \quad (8)$$

$$\text{Caractère fondant} = 2,266 + 0,001X_1 + 0,004X_2 - 0,008X_4 \quad (9)$$

$$\text{Forme} = 3,552 + 0,004X_1 + 0,004X_2 - 0,005X_3 - 0,006X_4 \quad (10)$$

$$\text{Croustillance} = 1,148 + 0,011X_2 + 0,001X_4 \quad (11)$$

$$\text{Dureté} = 2,108 + 0,001X_1 + 0,008X_2 - 0,011X_3 \quad (12)$$

$$\text{Arôme} = 3,636 + 0,004X_2 - 0,003X_3 - 0,005X_4 \quad (13)$$

$$\text{Qualité globale} = 5,917 + 0,001X_2 - 0,006X_3 - 0,013X_4 \quad (14)$$

Avec X_1 =quantité de blé, X_2 =quantité de riz, X_3 =quantité de margarine et X_4 =quantité de safou.

III.1.1.2. Validation des modèles proposés

Les tableaux 11, 12, 13, 14 présentent les valeurs des différents paramètres utilisés pour valider les modèles proposés. De façon générale, les valeurs de R^2 des modèles proposés pour la croustillance, la dureté et l'arôme sont toutes supérieures à 80%. Les valeurs des R^2 des modèles proposés pour la granulométrie, la forme et la qualité globale sont respectivement de 76,84%, 73,03% et 79,75%. Pour le caractère fondant, une faible valeur de R^2 a été observée (45,94%). Etant donnée que le R^2 n'est pas le seul paramètre de validation des modèles, d'autres paramètres ont été mesurés. Les valeurs de la probabilité pour le test de manque d'adéquation dans les tableaux 11, 12, 13, 14 sont toutes supérieures à 0,05. Enfin, les valeurs du facteur polarisé d'exactitude (Af) et celles du facteur polarisé (Bf) sont toutes comprises entre 0,75 et 1,25.

1. Granulométrie

L'ANOVA montre que la granulométrie est influencée principalement par les effets principaux de chaque facteur. Parmi ces facteurs, la quantité de riz a une influence positive et

significative ($p=0,000$) et seule la quantité de margarine a une influence négative sur la granulométrie.

2. Caractère fondant

L'ANOVA montre que le caractère fondant est influencé principalement par les effets principaux de chaque facteur. Parmi ces facteurs, seule la quantité de riz a une influence positive, les quantités de blé, de margarine et de safou ont une influence négativement sur le caractère fondant.

3. Croustillance

L'ANOVA montre que la croustillance est influencée principalement par les effets principaux de chaque facteur. Parmi ces facteurs, la quantité de riz a une influence positive et significative ($p=0,000$) et la quantité de margarine a une influence négative sur la croustillance.

4. Dureté

L'ANOVA montre que la dureté est influencée principalement par les effets principaux de chaque facteur. Parmi ces facteurs, la quantité de riz a une influence positive et significative ($p=0,001$) et la quantité de margarine a une influence négative et significative ($p=0,011$) sur la dureté. Bien que non significative ($p>0,05$), la quantité de blé et de safou ont présenté une influence positive sur la dureté.

5. Arôme

L'ANOVA montre que l'arôme est influencé principalement par les effets principaux de chaque facteur. Parmi ces facteurs, la quantité de riz a une influence positive et significative ($p=0,012$) et la quantité de margarine et de safou ont une influence négative sur l'arôme.

6. Qualité globale

L'ANOVA montre que la qualité globale est influencée principalement par les effets principaux de chaque facteur. Parmi ces facteurs, seule la quantité de riz a une influence positive et significative ($p=0,012$) alors que le blé, la quantité de margarine et de safou ont une influence négative sur la qualité globale.

Tableau 11: Variance, coefficient de détermination, facteur de biais, facteur de biais polarisé, et analyse absolue de déviation moyenne des réponses mesurées pour la production des biscuits à base de farine de safou

| Facteurs | Granulométrie | | | | Fondant | | | |
|-------------------------------|---------------|-----------|-------|--------|---------|----------|------|--------|
| | DL | Coef | F | P | DL | Coef | F | P |
| X ₀ , Constant | | 0,145111 | | | | 2,26614 | | |
| <i>Linéaires</i> | | | | | | | | |
| X ₁ : Blé | 1 | 0,003166 | 2,74 | 0,109 | 1 | -0,00101 | 0,22 | 0,640 |
| X ₂ : Riz | 1 | 0,009644 | 18,43 | 0,000* | 1 | 0,00468 | 3,50 | 0,072 |
| X ₃ : Margarine | 1 | -0,003980 | 0,79 | 0,381 | 1 | -0,00051 | 0,01 | 0,918 |
| X ₄ : Safou | 1 | 0,005310 | 1,54 | 0,225 | 1 | -0,00827 | 3,02 | 0,094 |
| <i>Quadratiques</i> | | | | | | | | |
| X ₁ ² | 1 | -0,000002 | 1,38 | 0,251 | 1 | 0,00000 | 0,09 | 0,764 |
| X ₂ ² | 1 | -0,000004 | 11,55 | 0,002* | 1 | -0,00000 | 2,00 | 0,168 |
| X ₃ ² | 1 | 0,000002 | 0,22 | 0,644 | 1 | 0,00000 | 0,11 | 0,748 |
| X ₄ ² | 1 | -0,000003 | 0,32 | 0,576 | 1 | 0,00000 | 0,73 | 0,399 |
| <i>Interactions</i> | | | | | | | | |
| X ₁ X ₂ | 1 | -0,000007 | 29,73 | 0,000* | 1 | -0,00000 | 6,28 | 0,019* |
| X ₁ X ₃ | 1 | 0,000005 | 3,59 | 0,069 | 1 | 0,00000 | 0,27 | 0,605 |
| X ₁ X ₄ | 1 | 0,000001 | 0,13 | 0,720 | 1 | 0,00001 | 5,02 | 0,034* |
| X ₂ X ₃ | 1 | 0,000002 | 0,33 | 0,572 | 1 | -0,00000 | 0,71 | 0,405 |
| X ₂ X ₄ | 1 | 0,000005 | 3,47 | 0,074 | 1 | 0,00000 | 0,19 | 0,665 |
| X ₃ X ₄ | 1 | 0,000000 | 0,00 | 0,985 | 1 | 0,00000 | 0,30 | 0,590 |
| Erreur | 21 | | | | 21 | | | |
| Test d'adéquation | 6 | 1,34469 | | | 6 | 1,66728 | | |
| Total | 41 | | | | 41 | | | |
| R ² | | 76,84% | | | | 45,94% | | |
| R ² ajusté | | 64,83% | | | | 17,91% | | |
| AADM | | 0,57 | | | | 0,32 | | |
| Af | | 1,21 | | | | 1,22 | | |
| Bf | | 1,18 | | | | 0,81 | | |

DL=dégré de liberté ; *Coef*=coefficients de regression. *F*=valeur du test de Fischer ; *P*=valeur du test de probabilité *P* ; * =valeur de $p < 0,05$ indiquant qu'il y a un effet significatif de 0 à 95% du niveau de confidentialité ; *AADM*=analyse absolue de déviation moyenne ; *Af*=facteur polarisé d'exactitude ; *Bf*=facteur de biais polarisé.

Tableau 12: (suite)

| Facteurs | Forme | | | | Croustillance | | | |
|-------------------------------|-------|----------|-------|-------|---------------|----------|-------|-------|
| | DL | Coef | F | P | DL | Coef | F | P |
| X ₀ , Constant | | 3,55227 | | | | 1,14896 | | |
| <i>Linéaires</i> | | | | | | | | |
| X ₁ : Blé | 1 | 0,00402 | 4,85 | 0,036 | 1 | 0,00021 | 0,01 | 0,907 |
| X ₂ : Riz | 1 | 0,00462 | 4,64 | 0,040 | 1 | 0,01144 | 29,41 | 0,000 |
| X ₃ : Margarine | 1 | -0,00570 | 1,78 | 0,193 | 1 | -0,00003 | 0,00 | 0,995 |
| X ₄ : Safou | 1 | -0,00626 | 2,35 | 0,137 | 1 | 0,00102 | 0,07 | 0,801 |
| <i>Quadratiques</i> | | | | | | | | |
| X ₁ ² | 1 | -0,00000 | 11,04 | 0,003 | 1 | 0,00000 | 0,18 | 0,677 |
| X ₂ ² | 1 | -0,00000 | 8,12 | 0,008 | 1 | -0,00001 | 19,16 | 0,000 |
| X ₃ ² | 1 | -0,00000 | 0,17 | 0,686 | 1 | 0,00000 | 0,03 | 0,872 |
| X ₄ ² | 1 | -0,00000 | 0,05 | 0,828 | 1 | -0,00000 | 0,95 | 0,338 |
| <i>Interactions</i> | | | | | | | | |
| X ₁ X ₂ | 1 | -0,00000 | 7,45 | 0,011 | 1 | -0,00000 | 15,41 | 0,001 |
| X ₁ X ₃ | 1 | 0,00000 | 0,44 | 0,513 | 1 | 0,00000 | 1,47 | 0,236 |
| X ₁ X ₄ | 1 | 0,00000 | 2,61 | 0,118 | 1 | 0,00000 | 1,16 | 0,291 |
| X ₂ X ₃ | 1 | 0,00000 | 1,03 | 0,319 | 1 | -0,00001 | 4,39 | 0,046 |
| X ₂ X ₄ | 1 | -0,00000 | 0,05 | 0,830 | 1 | -0,00000 | 3,05 | 0,092 |
| X ₃ X ₄ | 1 | 0,00001 | 4,56 | 0,042 | 1 | -0,00001 | 0,87 | 0,360 |
| Erreur | 21 | | | | 21 | | | |
| Test d'adéquation | 6 | 1,22827 | | | 6 | 1,18559 | | |
| Total | 41 | | | | 41 | | | |
| R ² | | 73,04% | | | | 84,89% | | |
| R ² ajusté | | 59,07% | | | | 77,06% | | |
| AADM | | 0,48 | | | | 0,24 | | |
| Af | | 1,24 | | | | 1,18 | | |
| Bf | | 1,14 | | | | 1,15 | | |

DL=dégré de liberté ; Coef=coefficients de regression. F=valeur du test de Fischer ; P=valeur du test de probabilité P ; *=valeur de $p < 0,05$ indiquant qu'il y a un effet significatif de 0 à 95% du niveau de confidentialité ; AADM=analyse absolue de déviation moyenne ; Af=facteur polarisé d'exactitude ; Bf=facteur de biais polarisé.

Tableau 13: (suite)

| Facteurs | Dureté | | | | Arôme | | | |
|-------------------------------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | DL | Coef | F | P | DL | Coef | F | P |
| X ₀ , Constant | | 2,10825 | | | | 3,63602 | | |
| <i>Linéaires</i> | | | | | | | | |
| X ₁ : Blé | 1 | 0,00140 | 0,61 | 0,440 | 1 | 0,00058 | 0,19 | 0,667 |
| X ₂ : Riz | 1 | 0,00806 | 14,73 | 0,001 | 1 | 0,00426 | 7,31 | 0,012 |
| X ₃ : Margarine | 1 | -0,01133 | 7,36 | 0,011 | 1 | -0,00378 | 1,46 | 0,238 |
| X ₄ : Safou | 1 | 0,00025 | 0,00 | 0,950 | 1 | -0,00512 | 2,92 | 0,099 |
| <i>Quadratiques</i> | | | | | | | | |
| X ₁ ² | 1 | 0,00000 | 1,24 | 0,275 | 1 | -0,00000 | 0,04 | 0,836 |
| X ₂ ² | 1 | -0,00000 | 4,27 | 0,049 | 1 | -0,00000 | 6,64 | 0,016 |
| X ₃ ² | 1 | 0,00001 | 6,02 | 0,021 | 1 | 0,00000 | 0,55 | 0,464 |
| X ₄ ² | 1 | 0,00000 | 0,17 | 0,683 | 1 | 0,00000 | 0,41 | 0,528 |
| <i>Interactions</i> | | | | | | | | |
| X ₁ X ₂ | 1 | -0,00000 | 16,16 | 0,000 | 1 | -0,00000 | 3,85 | 0,528 |
| X ₁ X ₃ | 1 | 0,00000 | 2,13 | 0,156 | 1 | 0,00000 | 17,52 | 0,000 |
| X ₁ X ₄ | 1 | -0,00000 | 0,83 | 0,370 | 1 | 0,00000 | 0,52 | 0,479 |
| X ₂ X ₃ | 1 | -0,00000 | 2,55 | 0,122 | 1 | -0,00000 | 0,93 | 0,344 |
| X ₂ X ₄ | 1 | -0,00001 | 4,18 | 0,051 | 1 | -0,00000 | 0,23 | 0,633 |
| X ₃ X ₄ | 1 | 0,00000 | 0,53 | 0,473 | 1 | 0,00000 | 4,06 | 0,054 |
| Erreur | 21 | | | | 21 | | | |
| Test d'adéquation | 6 | 1,17415 | | | 6 | 0,66054 | | |
| Total | 41 | | | | 41 | | | |
| R ² | | 81,39% | | | | 81,48% | | |
| R ² ajusté | | 71,73% | | | | 71,88% | | |
| AADM | | 0,43 | | | | 0,25 | | |
| Af | | 1,19 | | | | 1,20 | | |
| Bf | | 1,09 | | | | 1,06 | | |

DL=dégré de liberté ; Coef=coefficients de regression. F=valeur du test de Fischer ; P=valeur du test de probabilité P ; *=valeur de $p < 0,05$ indiquant qu'il y a un effet significatif de 0 à 95% du niveau de confidentialité ; AADM=analyse absolue de déviation moyenne ; Af=facteur polarisé d'exactitude ; Bf=facteur de biais polarisé.

Tableau 14: (suite et fin)

| Facteurs | Qualité globale | | | |
|-------------------------------|-----------------|----------|-------|-------|
| | DL | Coef | F | P |
| X ₀ , Constant | | 5,91773 | | |
| <i>Linéaires</i> | | | | |
| X ₁ : Blé | 1 | -0,00016 | 0,01 | 0,922 |
| X ₂ : Riz | 1 | 0,00192 | 1,09 | 0,306 |
| X ₃ : Margarine | 1 | -0,00632 | 2,97 | 0,096 |
| X ₄ : Safou | 1 | -0,01347 | 14,74 | 0,001 |
| <i>Quadratiques</i> | | | | |
| X ₁ ² | 1 | 0,00000 | 0,03 | 0,873 |
| X ₂ ² | 1 | -0,00000 | 2,85 | 0,103 |
| X ₃ ² | 1 | 0,00001 | 2,82 | 0,105 |
| X ₄ ² | 1 | 0,00001 | 4,90 | 0,035 |
| <i>Interactions</i> | | | | |
| X ₁ X ₂ | 1 | -0,00000 | 7,33 | 0,012 |
| X ₁ X ₃ | 1 | -0,00000 | 0,00 | 0,959 |
| X ₁ X ₄ | 1 | 0,00000 | 2,53 | 0,123 |
| X ₂ X ₃ | 1 | 0,00000 | 0,04 | 0,849 |
| X ₂ X ₄ | 1 | 0,00000 | 0,81 | 0,377 |
| X ₃ X ₄ | 1 | 0,00001 | 1,26 | 0,272 |
| Erreur | 21 | | | |
| Test d'adéquation | 6 | 0,90616 | | |
| Total | 41 | | | |
| R ² | | 79,75% | | |
| R ² ajusté | | 69,25% | | |
| AADM | | 0,40 | | |
| Af | | 1,18 | | |
| Bf | | 0,77 | | |

DL=dégré de liberté ; *Coef*=coefficients de regression. *F*=valeur du test de Fischer ; *P*=valeur du test de probabilité *P* ; *=*valeur de p*<0,05 indiquant qu'il y a un effet significatif de 0 à 95% du niveau de confidentialité ; *AADM*=analyse absolue de déviation moyenne ; *Af*=facteur polarisé d'exactitude ; *Bf*=facteur de biais polarisé.

III.1.1.3. Effet des facteurs sur la qualité organoleptique des biscuits

Pour évaluer l'effet des facteurs sur la granulométrie des biscuits, les facteurs suivants (quantité de safou, et quantité de beurre) ont été sélectionnés de par leur importance pour cette étude. Les autres facteurs (quantité de blé et de riz) ont été fixés à leurs valeurs au centre.

III. 1.1.3.a) Effets des facteurs sur la granulométrie des biscuits

Les graphiques de contour typiques montrant l'effet combiné de la quantité de margarine et de la poudre de safou sur la granulométrie sont présentés sur la figure 11A. La granulométrie des biscuits augmente lorsque la quantité de poudre de safou et de margarine croît. Elle atteint son maximum pour des quantités de safou comprises entre 350 et 500 g et des quantités de margarine comprises allant de 400 à plus de 500 g.

III. 1.1.3.b) Effets des facteurs sur la caractère fondant des biscuits

La figure 11B présente les graphiques de contour typique montrant l'effet combiné de la quantité de margarine et la quantité de la poudre de safou sur le caractère fondant. On observe que lors qu'on a des proportions de safou et de margarine supérieures à 450 g, les biscuits sont fondants.

III. 1.1.3.c) Effets des facteurs sur la croustillance.

La figure 11C montre l'évolution de la croustillance des biscuits en fonction de la quantité de safou et de margarine. Il est a noté qu'une augmentation de la quantité poudre de safou et de margarine entraine une réduction de la croustillance. Ceci serait dû à une proportion importante de lipides apporté par la poudre de safou et la margarine.

III. 1.1.3.d) Effet des facteurs sur la forme des biscuits

Les résultats de l'effet combiné de la quantité de margarine et la quantité de la poudre de safou sur la forme du biscuit sont présentés dans la figure 11D. Il ressort de cette figure que la forme est perçue pour des valeurs de quantité de safou comprises entre 0 et 550g et celles de la margarine comprises entre 0 et 510 g. L'augmentation de la quantité de safou

contribue à diminuer la perception de la forme des biscuits par les panelistes. La même observation a été faite lorsque la quantité de margarine augmente.

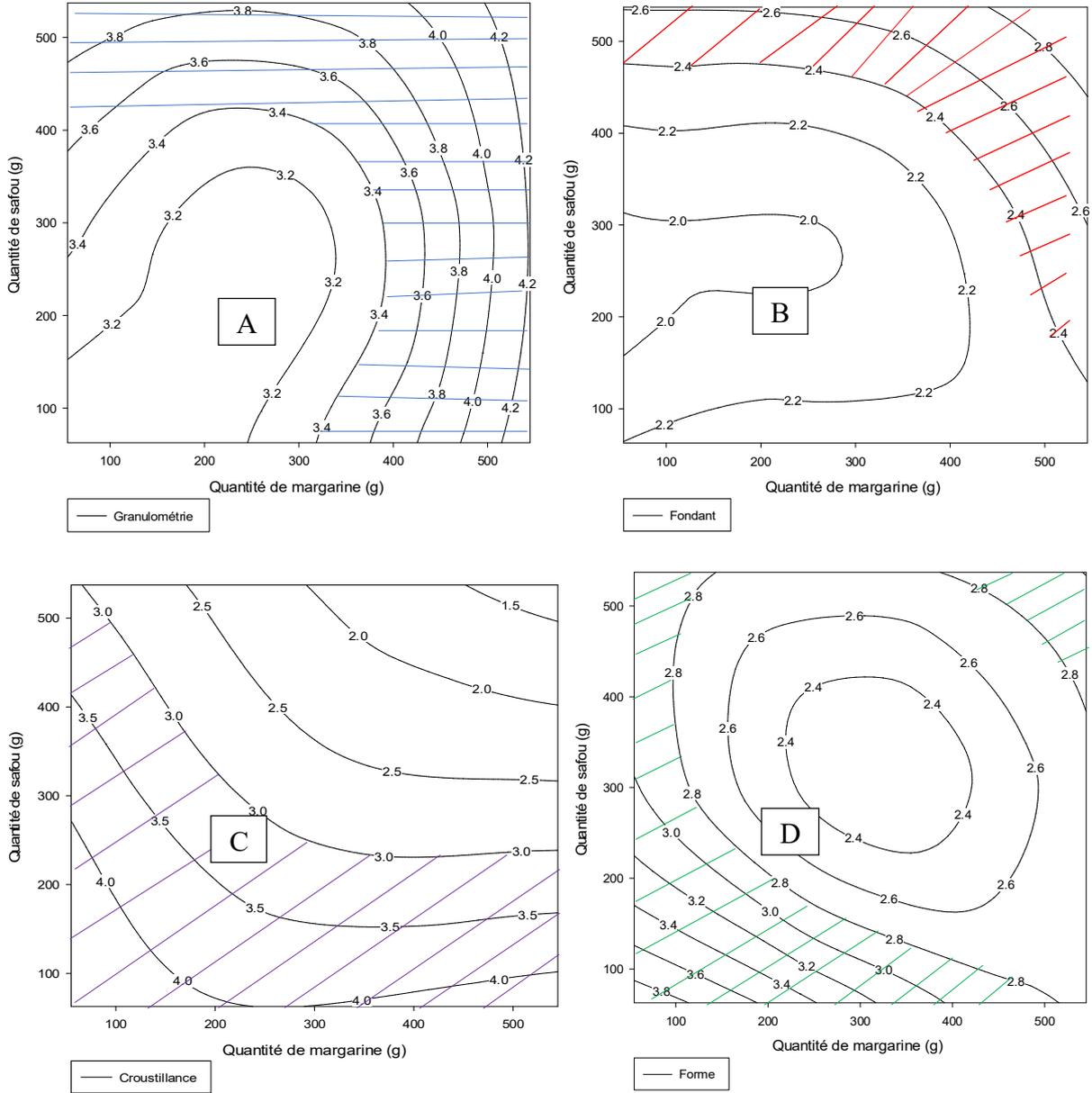


Figure 11 : Effet de la quantité de margarine et la quantité de la poudre de saffou sur la granulométrie (A), le caractère fondant (B), la croustillance (C) et forme (D) des biscuits

III. 1.1.3.e) Effet des facteurs sur la dureté des biscuits

D'un point de vue sensoriel, la dureté d'un aliment solide est définie comme la force requise pour comprimer une substance lorsqu'elle est placée entre les molaires (**Szczesniak, 2002**). Dans le cadre de ce travail l'effet de l'ajout de safou et de margarine sur la dureté des biscuits a été évalué figure 12E. On observe que lorsque la quantité de farine de safou augmente, il y a une augmentation de la dureté. Ceci pourrait s'expliquer par la capacité d'absorption d'eau de la farine de safou. En outre, l'augmentation de la quantité de margarine a plutôt présenté l'effet inverse sur la dureté des biscuits.

III. 1.1.3.f) Effet des facteurs sur l'arôme des biscuits

Les résultats de l'effet de la quantité de margarine et la quantité de la poudre de safou sur l'arôme sont présentés dans la figure 12F. Il ressort de ces résultats que lorsque la quantité de poudre de safou est importante, l'arôme caractéristique du biscuit n'est pas perceptible. Par ailleurs, une augmentation de l'arôme des biscuits avec les quantités de margarine a également été notée.

III. 1.1.3.g) Effet des facteurs sur la qualité globale des biscuits

L'effet d'une variation simultanée de la quantité de margarine et la quantité de la farine de safou sur la qualité globale est présenté à la figure 12G. On observe que l'augmentation de la quantité de poudre de safou diminue la qualité globale des biscuits. Parallèlement, il ressort de la figure 8G qu'une augmentation de la quantité de margarine permet d'améliorer la qualité globale des biscuits.

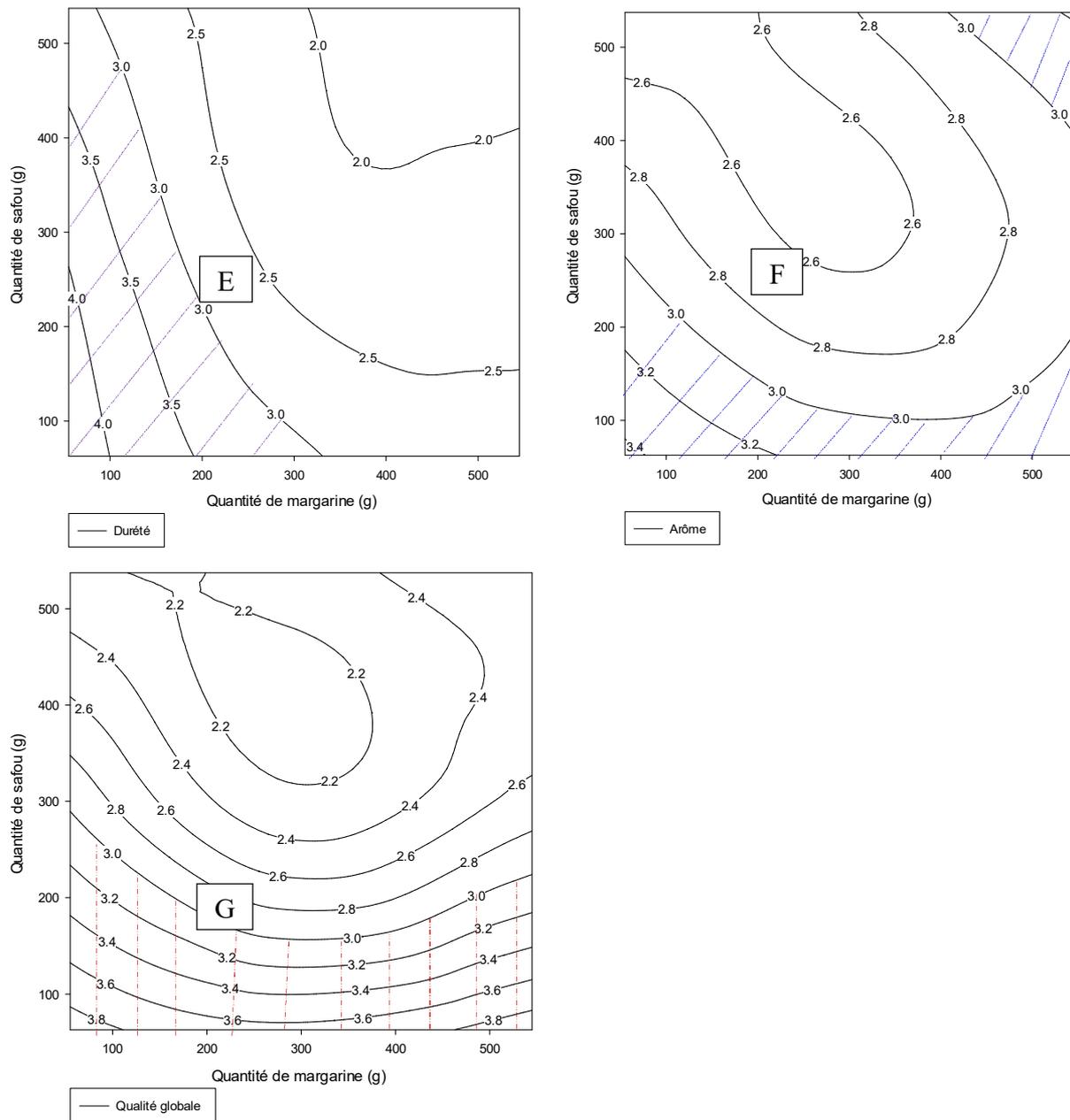


Figure 12 : Effet de la quantité de margarine et la quantité de la poudre de safou sur la dureté (E), l'arôme (F) et la qualité globale (G) des biscuits

III. 1.1.4. Conditions optimales de production des biscuits

Le tableau 15 présente les plages de quantité de safou et quantité de margarines pour lesquelles les paramètres sensoriels des biscuits sont optimaux. Il ressort de ce tableau que les biscuits ont une granulométrie optimale (valeurs) lorsque la quantité de farine de safou utilisée varie de 420 à 600 et la quantité de margarine de 320g à 600g, les biscuits ont également une forme optimale pour les quantités de safou comprises entre 0-550g et les quantités de margarine comprises entre 0-510g. S'agissant de la croustillance, elle est optimale pour les quantités de safou 100-300g et pour les quantités de margarine 320-600g, Ensuite les biscuits ont une dureté optimale pour les valeurs du safou de 100 – 550g et la margarine de 200 – 350g. Pour ce qui concerne le caractère fondant, il est optimal pour les valeurs de safou supérieure 475g et de la margarine supérieure 600g. L'arôme est optimal pour les valeurs du safou comprise entre 0-275g et de 0-500g pour la margarine. Enfin, la qualité globale est optimale pour les valeurs du safou allant de 0-275g et de la margarine allant de 0-600g.

Tableau 15: Conditions optimales de production des biscuits

| Paramètres sensoriels | Facteurs | |
|-----------------------|-----------|---------------|
| | Safou (g) | Margarine (g) |
| Granulométrie | 420 - 600 | 320 - 600 |
| Forme | 0 - 550 | 0 - 510 |
| Croustillance | 100 - 300 | 320 - 600 |
| Dureté | 100 - 550 | 200 - 350 |
| Fondant | 475 - 600 | 600 - 1200 |
| Arôme | 0-275 | 0-500 |
| Acceptabilité globale | 0 - 275 | 0 - 600 |

III. 1.1.5. Optimisation multi réponses

Afin de déterminer les conditions qui satisfont toutes les réponses mesurées, deux méthodes ont été utilisées à savoir : la superposition des courbes d'isoreponses et l'utilisation de la fonction désirabilité.

En ce qui concerne la superposition des courbes d'isorréponses telle qu'illustrée à la figure 13 elle a permis de définir la zone pour laquelle les différents paramètres sensoriels des biscuits sont optimales. Il ressort de cette superposition que la zone optimale est obtenue pour les quantités de safou comprises entre 0 et 200 g et pour les quantités de margarine comprises entre 320 et 550 g.

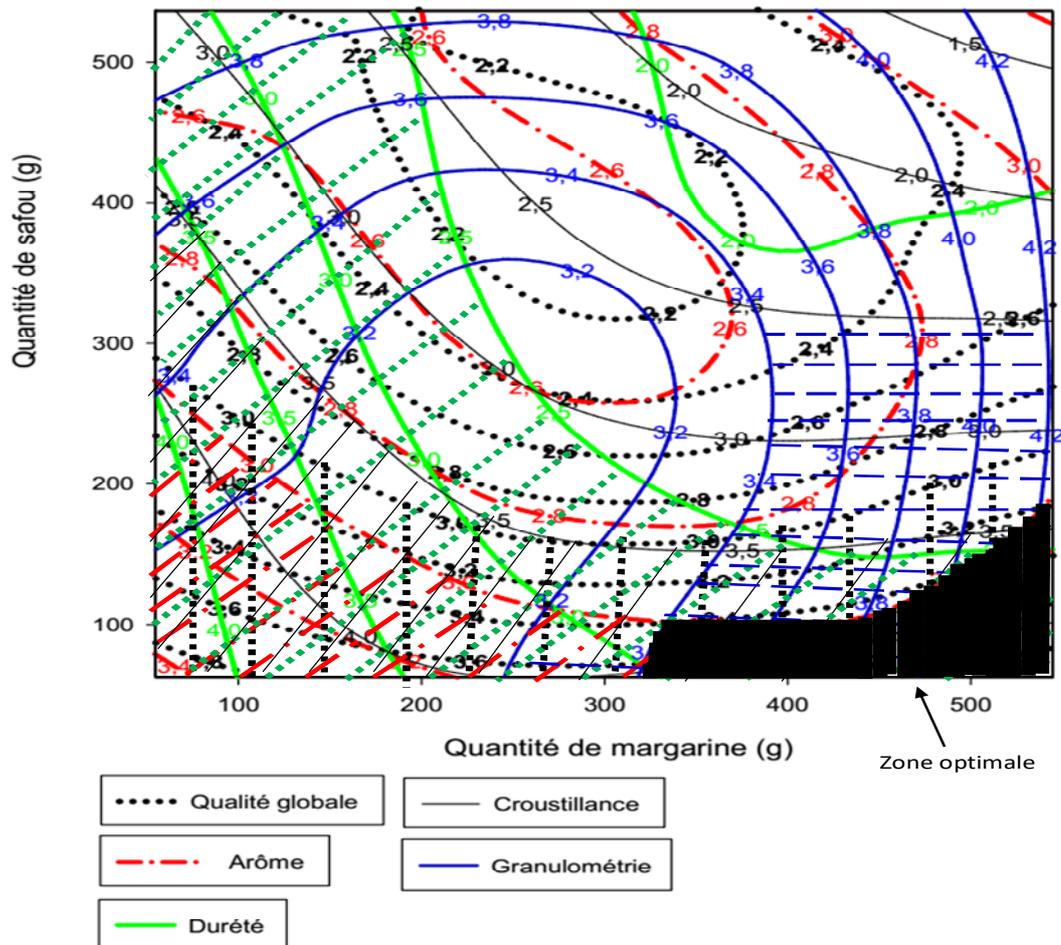


Figure 13 : La zone optimale des quantités d'ingrédients nécessaires pour la production des biscuits de riz-blé au safou acide

Dans la zone optimale précédemment défini à la figure 13, la fonction de désirabilité a été utilisée afin d'identifier le point optimal. La figure 14 ci-dessous présente les conditions de composition de la pâte (blé, riz, margarine et safou) qui satisfont les différentes réponses mesurées et les valeurs de désirabilité. Ainsi, pour avoir un biscuit de granulométrie minimale ayant un caractère fondant, une forme, la croustillance, la dureté et un arôme maximal, il faut utiliser 20,24% de farine de blé, 24,51% de farine de riz, 19,09 % de margarine et 2,47% de poudre de safou (**Photo 4**).

| Désirabilité composite | Quantité optimale de blé (g) 496,86 | Quantité optimale de riz (g) 601,76 | Quantité optimale de margarine (g) 468,75 | Quantité optimale de safou (g) 62,82 |
|---------------------------|--|--|--|---|
| Fondant Y=2,65 | | | | |
| Forme Y=3,26 | | | | |
| Croustillance Y=3,99 | | | | |
| Dureté Y=2,70 | | | | |
| Arôme Y=3,43 | | | | |
| Qualité globale Y=4,02 | | | | |

Figure 14 : Les conditions de composition de la pâte (blé, riz, margarine et safou qui satisfont les différentes réponses mesurées et les valeurs de désirabilité



Photo 4: Biscuit optimisé (Eyenga dans cette étude)

Les expériences ont été effectuées en triple dans les conditions optimales définies à la désirabilité composite (0,42) telles qu'illustrées à la figure 14. Les valeurs des réponses obtenues pour les différents paramètres sensoriels des biscuits ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$) de celles prédites par le modèle et à l'issue du test t de Student (tableau 16). Ainsi, ces résultats permettent de proposer comme condition optimale pour la production de biscuits 20,24 % de farine de blé, 24,51 % de farine de riz, 19,09 % de margarine et 2,47 % de poudre de safou. Ces conditions permettent d'avoir un biscuit ayant un score de granulométrie 3,53, un score de caractère fondant de 2,65, un score de forme de 3,26, un score de croustillance de 3,99, un score de dureté de 2,70, un score d'arôme de 3,43 et une acceptabilité globale avec un score de 4,02.

Tableau 16: Valeurs prédites et expérimentales des réponses obtenues dans les conditions optimales de production des biscuits

| Paramètres sensoriels | Valeurs prédites | Valeurs obtenues | t | p-values |
|-----------------------|------------------|------------------|--------|----------|
| Granulométrie | 3,53 | 3,50 ± 0,03 | 1,816 | 0,143 |
| Caractère fondant | 2,65 | 2,69 ± 0,08 | -1,139 | 0,318 |
| Forme | 3,26 | 3,24 ± 0,13 | 1,069 | 0,345 |
| Croustillance | 3,99 | 3,93 ± 0,06 | 1,266 | 0,274 |
| Dureté | 2,70 | 2,65 ± 0,07 | 0,632 | 0,561 |
| Arôme | 3,43 | 3,40 ± 0,20 | 0,263 | 0,806 |
| Acceptabilité globale | 4,02 | 4,16 ± 0,16 | -0,636 | 0,559 |

III.2. Analyse physicochimique des poudres de safous acide et non acide

III. 2.1. Analyse physique de la poudre de safou acide et non acide

Les résultats de l'indice L^* , a^* et b^* et du pH des échantillons de poudre de safou sont présentés dans le tableau 17 ci-dessous. Les indices a^* et b^* indiquent la prédominance de la couleur rouge et du jaune dans les échantillons de poudre de safou acide et non acide. La clarté (L^*) de la poudre de safou acide est supérieur à celle du safou non acide. Par ailleurs, on note une différence significative ($p < 0,05$) entre les différents paramètres de la couleur (L^* , a^* , b^*). De plus Il existe également une différence significative ($p < 0,05$) entre le pH du

safou acide et le pH du safou non acide. Le pH du safou non acide est supérieur ($4,85 \pm 0,07^b$) à celui du safou acide ($3,72 \pm 0,03^a$).

Tableau 17: La variation de la couleur (L^* , a^* , b^*) et du pH du safou acide et non acide

| Types de safou | Couleurs | | | pH |
|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | L^* (clarté) | b^* (jaune) | a^* (rouge) | |
| Acide | $36,65 \pm 1,06^b$ | $12,4 \pm 1,41^b$ | $9,1 \pm 1,13^b$ | $3,72 \pm 0,03^a$ |
| Non acide | $28,3 \pm 0,42^a$ | $4,7 \pm 0,56^a$ | $8,25 \pm 0,358^a$ | $4,85 \pm 0,7^b$ |

Légende: * les moyennes \pm écarts-types portant en exposant les lettres minuscules différentes sur une même colonne sont significativement différentes $p < 0,05$

III. 2.2. Composition nutritionnelle des poudres de safou acide et non acide

Dans le tableau 18 sont données la composition nutritionnelle des poudres de safous acide et non acide. Il en ressort que la teneur en eau des poudres de safou acide est plus élevée ($4,77 \pm 0,18$) % que celle des poudres de safou non acide ($3,6 \pm 0,23$)%. S'agissant de la teneur en lipides et des protéines, on note aussi une élévation significativement des lipides et des protéines du safou non acide ($65,72 \pm 0,91$)% ($9,03 \pm 0,04$)% et celle du safou acide sont respectivement de ($61,56 \pm 0,44$)% ($8,23 \pm 0,01$)%. Contrairement à la teneur en glucides du safou acide ($23,53 \pm 0,81$) %, elle est significativement plus élevée ($p < 0,05$) que celle du safou non acides ($14,07 \pm 1,24$). Les teneurs en fibres brutes du safou non acide quant à eux ($7,6 \pm 0,18$)% sont plus grand ($p < 0,05$) que celle du safou acide ($1,9 \pm 0,19$)% et enfin, la valeur énergétique du safou non acide est similaire à celle du safou acide (683 et 681 Kcal / g).

Tableau 18: La composition proximale de la poudre de safou acide et non acide,

| Types de Safou | Paramètres | | | | | |
|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| | Eau (g/100MS) | Lipide(g/100MS) | Protéine (g/100MS) | Glucide (g/100MS) | Fibres brutes (g/100MS) | Energie (kcal/g) |
| acide | $4,77 \pm 0,18^b$ | $61,56 \pm 0,44^a$ | $8,23 \pm 0,01^a$ | $23,53 \pm 0,81^b$ | $1,9 \pm 0,19^a$ | $681,11 \pm 0,7^a$ |
| Non acide | $3,6 \pm 0,23^a$ | $65,72 \pm 0,91^b$ | $9,03 \pm 0,04^b$ | $14,07 \pm 1,24^a$ | $7,6 \pm 0,18^b$ | $683,37 \pm 4,21^a$ |

Légende: * les moyennes \pm écarts-types portant en exposant les lettres minuscules différentes sur une même colonne sont significativement différentes $p < 0,05$

Les résultats du dosage des acides aminés essentiels et non essentiels des poudres de safou acide et non acide sont consignés dans le tableau **19**. La leucine est l'acide aminé essentiel le plus abondant dans le safou, tandis que l'aspartate est l'acide aminé non essentiel le plus abondant. Les teneurs en acides aminés essentiels - phénylalanine, isoleucine, histidine et lysine sont plus élevées dans le safou non acides que dans le safou acide. Les teneurs en acides aminés non essentiels comme aspartate, glycine, alanine, gamma-amino butyrate (GABA), proline et arginine sont également plus élevées dans les safous non acide que le safou acide.

La composition minérale des safou acide et non acide est illustré dans le tableau **20**. De ce tableau, on remarque le potassium est le macroélément le plus abondant du safou (0,819 g / 100 g) suivi du magnésium, du phosphore et du calcium dans cet ordre et enfin le sodium. Le fer était l'oligo-élément le plus abondant dans le safou (22,6 ppm), suivi du cuivre, du manganèse, de l'aluminium et du zinc. De façon globale les safous acides sont plus riches en minéraux que les safous non acide.

Les teneurs en vitamine C du safou acide et du safou non acide sont représentées dans le tableau 21. On note une différence significative entre les teneurs en vitamine C du safou acide et du safou non acide. Les teneurs en vitamine C du safou non acide $177,31 \pm 1,68$ mg/100g sont plus élevées que les teneurs en vitamine C du safou acide $132,66 \pm 0,80$ mg/100g.

Tableau 19: Teneur en acide aminés des safou acide et non acide

| Matériel | Acide aminé Essentiels (g/100g) | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Phénylalanine | Valine | Thréonine | Isoleucine | Méthionine | Histidine | Leucine | Lysine |
| Safou acide | 0,65±0,00 ^a | 0,75±0,05 ^a | 0,65±0,14 ^a | 0,69±0,03 ^a | 0,31±0,01 ^a | 0,50±0,02 ^a | 1,19±0,01 ^a | 0,79±0,02 ^a |
| Safou non acide | 0,83±0,07 ^b | 0,93±0,13 ^a | 0,72±0,01 ^a | 0,91±0,12 ^b | 0,36±0,07 ^a | 0,69±0,01 ^b | 1,62±0,11 ^a | 0,96±0,08 ^b |

Légende: * les moyennes ± écarts-types portant en exposant les lettres minuscules différentes sur une même colonne sont significativement différent $p < 0,05$

| Types de biscuits | Acide aminé non Essentiels (g/100g) | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Aspartate | Serine | Glutamate | Glycine | Alanine | Tyrosine | Gamma amino Butyrate | Ammonium Chloride | Proline | Arginine | Cystine |
| Safou acide | 2,00±0,05 ^a | 0,83±0,14 ^a | 1,71±0,11 ^a | 0,77±0,07 ^a | 0,83±0,07 ^a | 0,90±0,02 ^a | 0,05±0,00 ^a | 1,11±0,02 ^a | 1,01±0,04 ^a | 0,77±0,05 ^a | 0,19±0,03 ^a |
| Safou non acide | 2,78±0,04 ^b | 1,01±0,02 ^a | 2,44±0,26 ^a | 1,07±0,04 ^b | 1,19±0,05 ^b | 1,21±0,06 ^b | 0,11±0,01 ^b | 1,47±0,07 ^b | 1,25±0,04 ^b | 1,07±0,05 ^b | 0,19±0,00 ^a |

Légende: * les moyennes ± écarts-types portant en exposant les lettres minuscules différentes sur une même colonne sont significativement différent $p < 0,05$

Tableau 20: La teneur en minéraux des safous acide et non acide

| Matériels | Macrominéraux | | | | | Macrominéraux(Oligoéléments) | | | | |
|-----------------|---------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | P (g/100g) | K (g/100g) | Ca (g/100g) | Mg (g/100g) | Na (g/100g) | Cu (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) | Al (ppm) |
| Safou acide | 0,128 | 0,941 | 0,165 | 0,133 | 0,003 | 15,1 | 27,6 | 10,5 | 8,9 | 13,1 |
| Safou non acide | 0,123 | 0,697 | 0,085 | 0,137 | 0,003 | 20,4 | 17,6 | 10,3 | 10,9 | 6,9 |
| Moyenne | 0,126 | 0,819 | 0,125 | 0,135 | 0,003 | 17,8 | 22,6 | 10,4 | 9,9 | 10 |
| Ecart type | 0,003 | 0,122 | 0,04 | 0,002 | 0 | 2,7 | 5 | 0,1 | 1 | 3,1 |

Tableau 21: La teneur en vitamine C du safou acide, non acide et des biscuits

| Type de safou | Vitamine C(mg/100g) |
|---------------|--------------------------|
| Acide | 132,66±0,80 ^a |
| non acide | 177,31±1,68 ^b |

* Les moyennes ± écarts-types portant en exposant les lettres minuscules différentes sur une même colonne sont significativement différent $p < 0,05$

III. 2.3. Détermination de la qualité des huiles des poudres de safou acide, non acide et des biscuits

La détermination de la qualité des huiles des poudres de safou acide et non acide sont consignés dans le tableau 22. La valeur de l'indice d'acide obtenue à partir d'échantillons d'huile extraits dans la safou acide différent de celle des échantillons d'huile extraits du safou non acide, mais il n'existe pas de différence significative ($P > 0,05$). En outre, les valeurs de l'indice d'iode varient de $52,51 \pm 0,54$ g d'iode / 100 g d'huile pour les safou acide à $55,85 \pm 0,07$ g d'iode / 100 g d'huile pour le safou non acide. Le test de student a montré des différences entre les deux types de safou. Pour ce qui concerne l'indice de saponification, ils est de $184,00 \pm 1,41$ à $172,50 \pm 0,7$ mg de KOH / g d'huile pour les safou acide et non acide, respectivement. Le test de student a montré des différences significatives. L'extrait d'huile de safou acide et non acide peut-être utilisé dans la saponification. Le degré d'impureté est de $0,96 \pm 0,07$ % pour le safou acide et de $0,83 \pm 0,00$ % pour le safou non acide ces valeurs restent inférieure à 1,

Tableau 22: Détermination de la qualité des huiles des poudres de safou acide, non acide et des biscuits

| Type de safou | Indice | | | Pourcentage d'impureté(%) |
|---------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| | Acide (mg KOH/g d'huile) | Iode (g iodine /100 g d huile) | Saponification (mg KOH/g d'huile) | |
| Acide | 1,78±0,14 ^a | 52,51±0,54 ^a | 184,00±1,41 ^b | 0,96±0,07 ^a |
| Non acide | 1,45±0,00 ^a | 55,85±0,07 ^b | 172,50±0,7 ^a | 0,83±0,00 ^a |

* les moyennes ± écarts-types portant en exposant les lettres minuscules différents sur une même colonne sont significativement différent $p < 0,05$

III.3. Analyse physique, sensorielle et nutritionnelle des biscuits

III. 3.1. Analyse physique des biscuits

La répartition granulométrique (tableau 23) des particules a montré une distribution hétérogène des particules dans les biscuits, avec une moyenne de taille comprise entre 250 μ m et 1000 μ m pour les biscuits fins (non sablé) et une moyenne de taille comprise entre 500 μ m et 1400 μ m pour les biscuits moyens (légèrement sablé) et larges (sablé) ($\chi^2 = 89,38$; $df = 8$; $P < 0,0001$).

Tableau 23: Détermination de la distribution granulométrique des biscuits (RB-100) sablé, légèrement sablé et non-sablé (fin)

| Type de biscuit de riz | Taille de maille du tamis | | | | |
|------------------------|---------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1400 μ m | 1000 μ m | 500 μ m | 250 μ m | 125 μ m |
| Non sablé (fin) (g) | 0 | 20,6 | 66,2 | 13,3 | 0 |
| Légèrement sablé (g) | 37,7 | 49,1 | 13,3 | 0 | 0 |
| Sablé (g) | 60,7 | 34,2 | 4 | 0 | 0 |

Chi – square = 89,38; Df = 8; P < 0,0001

Les caractéristiques physiques des trois types de biscuits sont illustrées dans le tableau 24. Ces résultats sont significativement différents ($p < 0,005$) entre chaque échantillon concernant la dureté et la cohésion. La dureté est de $5,7 \pm 2,3$ N pour les biscuits aux particules larges (les sablés) et de $16,1 \pm 4,4$ N pour les biscuits aux particules fines (non sablé). On réalise

que la cohésion est plus grande ($7,18 \pm 0,61$) pour les biscuits ayant des particules fines et elle est faible pour les biscuits ayant les particules larges ($1,17 \pm 0,70$).

Tableau 24: Détermination de la texture des biscuits (RB-100) sablé, légèrement sablé et non-sablé (fin)

| Types de biscuits | Paramètres | |
|-------------------|--------------------|--------------------|
| | Dureté(N) | Cohésion |
| Non sablé | $16,10 \pm 4, 4^a$ | $7,18 \pm 0, 61^a$ |
| Légèrement sablé | $8,89 \pm 2, 3^b$ | $2,19 \pm 6,68^b$ |
| Sablé | $5,70 \pm 2, 3^c$ | $1,17 \pm 0,70^c$ |

* les moyennes \pm écarts-types portant en exposant les lettres minuscules différent sur une même colonne sont significativement différent $p < 0,05$

La couleur est également l'un des attributs de qualité importants pour l'acceptation par les consommateurs des produits de boulangerie. La figure 15 montre la variation des indices de la couleur (L^* , a^* , b^* , c) en fonction des différents biscuits riz-blé (BRB-50) et des biscuits safou riz-blé (BRBSA-50) et des (BRBSNA-50). Il existe une différence significative ($p < 0,05$) entre les paramètres de la couleur (L^* , a^* , b^* , c) et les types de biscuits. La substitution de 30% de margarine par la poudre de safou a entraîné une diminution de la clarté (L^*) et du jaunissement (b^*) des biscuits enrichis safou. Parallèlement, il existe une différence significative ($p < 0,05$) entre l'intensité de la couleur (C) et les traitements. L'intensité de la couleur diminue également en fonction du traitement.

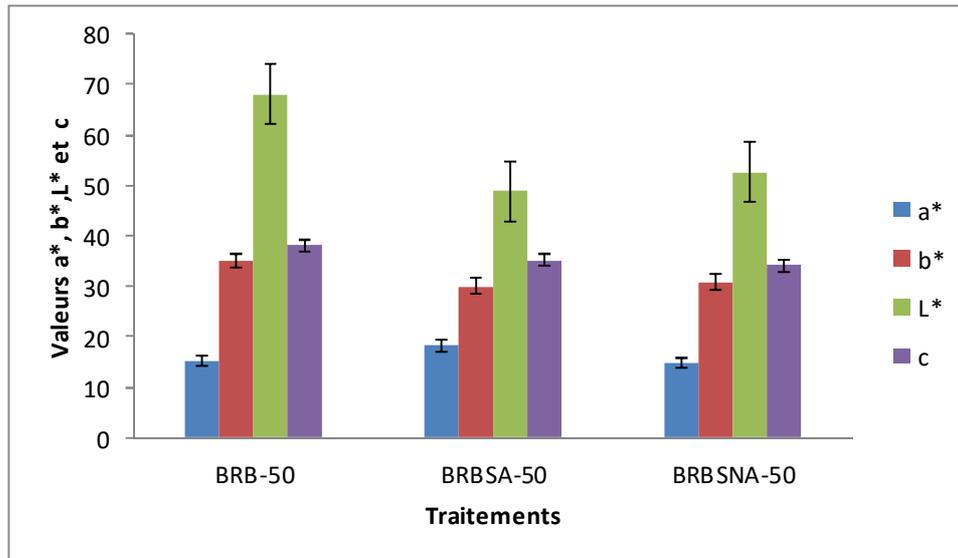


Figure 15: Variation des paramètres de la couleur (L^* , a^* , b^* , c) en fonction des différents types de biscuits: Biscuit de riz-blé (BRB-50), Biscuit de riz-blé au safou acide (BRBSA-50), Biscuit de riz-blé au safou non acide (BRBSNA-50)

III. 3.2. Analyse sensorielle

L'acceptabilité des biscuits de riz (RB-100) en fonction de la distribution de la taille des particules est illustrée à la figure 16. Les scores moyens des attributs sensoriels comme la friabilité (2,64), le gras (1,69) et la croustillance (3,74) sont très perçus par les panélistes lorsque les particules sont de grande taille (biscuits sablés) en comparaison aux biscuits légèrement sablés (2,38, 1,62, 3,31) et enfin lorsque les particules sont fines ou non sablés (2,30, 1,43, 3,21) respectivement. Le score de qualité globale a montré que les biscuits non sablés présentent un meilleur score (4,17) suivis des biscuits légèrement sablés (3,83) et enfin des biscuits sablés (3,67). Cela implique que l'acceptabilité du BR-100 augmente lorsque la taille des particules de farine diminue ($P < 0,05$).

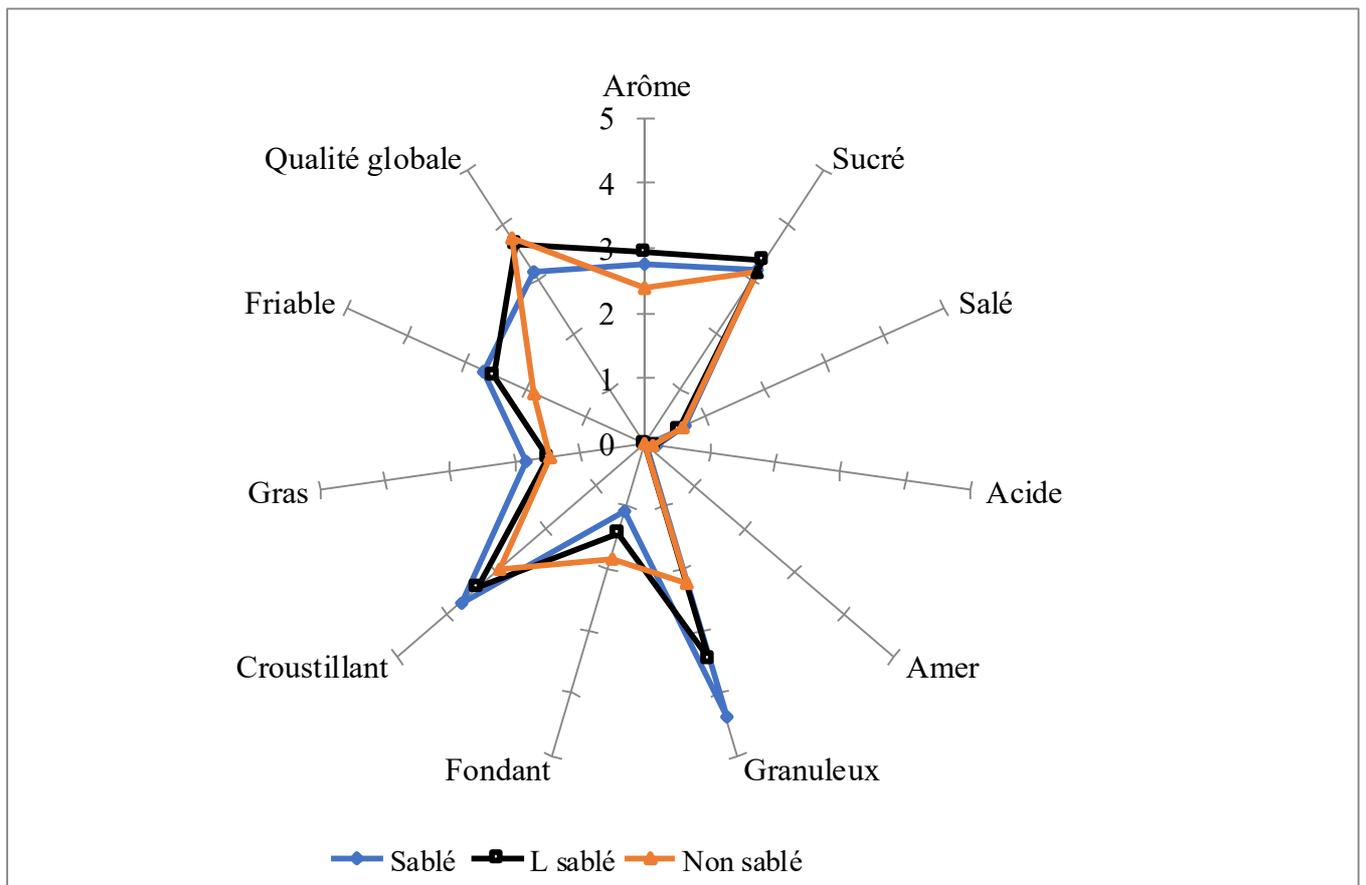


Figure 16: Acceptabilité des biscuits de riz (BR-100) en fonction de la taille des particules

Les radars de la figure 17, illustre les propriétés sensorielles et l'acceptabilité des biscuits de riz au safou (BRS-100) en fonction de la taille des particules. Le score moyen de attributs sensorielles comme la granulométrie (4,38), la croustillance(3,71),le gras(1,83) et la friabilité(2,69) est plus importantes dans les biscuits au safou avec de larges particules ensuite suit ceux des biscuits au safou ayant des particules moyennes(3,45;3,38;1,51;2,52) et enfin ceux des biscuits au safou ayant de fines particules (2,23;2,95;1,47;1,88). Les biscuits ayant les particules fines(3,73) ont une qualité globale plus élevé que ceux des biscuits ayant les particules moyennes (3,63) et enfin les biscuits ayant de larges particules (3,14) avec du safou.

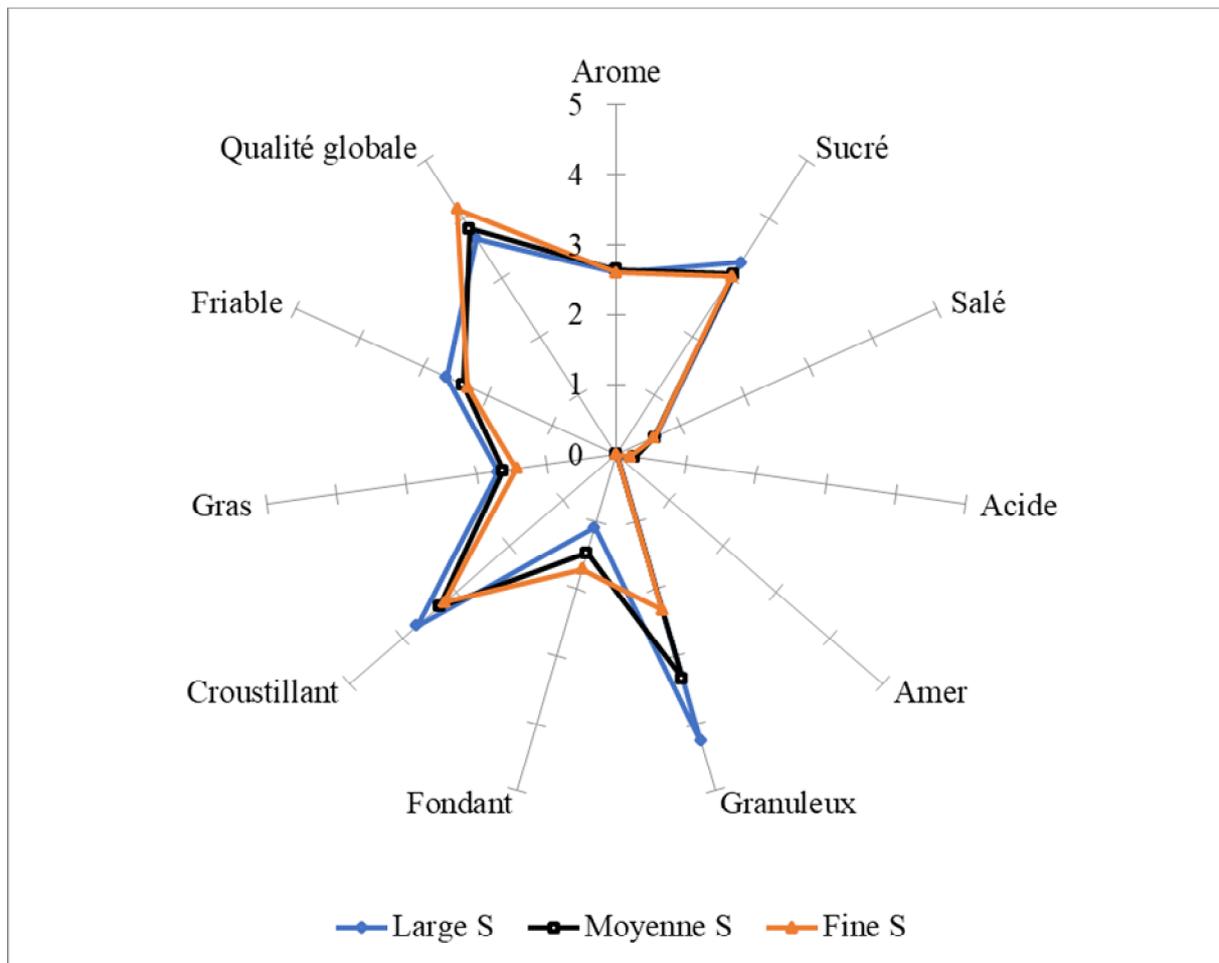


Figure 17: Acceptabilité des biscuits de riz au safou (BRS-100) en fonction des tailles de particules

Les résultats de l'évaluation sensorielle des biscuits fortifiés au safou et non fortifiés produits à l'aide de la farine composite de riz ayant une granulométrie fine (non sablé) sont présentés dans la figure 18. La saveur sucrée a obtenu le même score dans les biscuits de riz fortifiés au safou et simples (3,2 points). La saveur acide n'est pas ressentie car on a enregistré un score de zéro dans les biscuits fortifiés et non fortifiés. L'arôme quant à lui a obtenu un score supérieur avec des biscuits fortifiés au safou (2,60) par rapport à celui des échantillons non fortifiés (2,4). Les biscuits fortifiés au safou sont plus friable (2,31 points) que les biscuits de riz simples (1,88). Concernant l'acceptation globale, les biscuits fortifiés au safou ont obtenu un score plus élevé (4,16) que les biscuits au riz simples (3,74), une indication que l'incorporation du safou dans la formulation des biscuits améliore sa qualité organoleptique ($P < 0,05$).

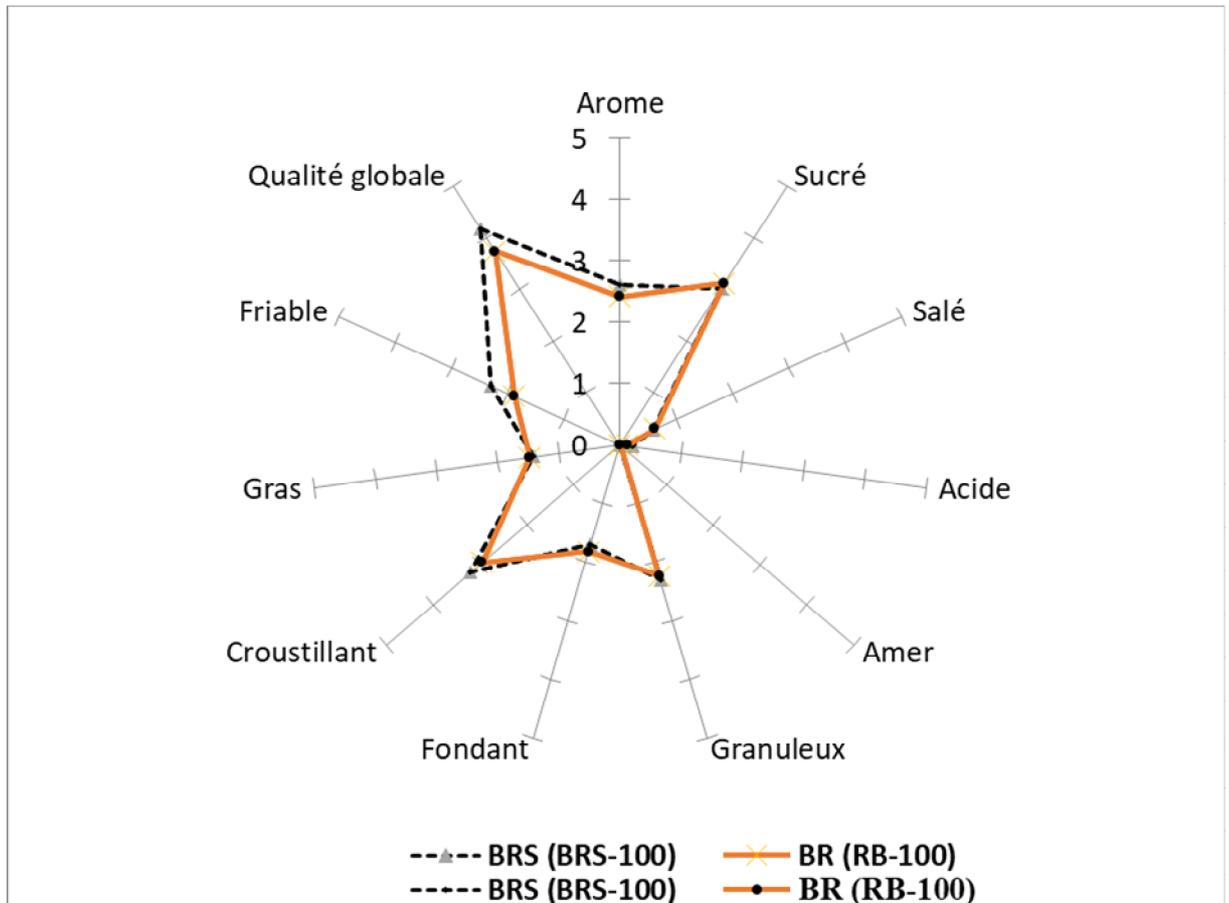


Figure 18: Acceptabilité des biscuits de riz au safou (BRS-100) et des biscuits riz (RB-100) en fonction des particules fines.

La figure 19 ci-dessous donne les résultats de l'analyse sensorielle des biscuits de riz-blé au safou (BRBSA) et des biscuits sablés au coco. La saveur salée a obtenu le même score dans les biscuits de riz fortifiés au safou acide et les sablés au coco (0,5 points). La saveur sucrée est plus élevée dans les sablés coco que dans les biscuits de riz-blé au safou acide. Puis, les biscuits de riz-blé au safou sont plus granuleux(3,30), croustillant(4,25) et aromatisé(4,6) que les sablés au coco. Les biscuits sablés au coco sont plus fondant(3,75) que les biscuits de riz blé fortifiés au safou (3,11). En outre, l'acceptabilité globale des biscuits de riz blé fortifiés au safou a obtenu un score plus élevé (4,56) en comparaison aux biscuits sablés au coco (3,23), les biscuits riz blé au safou sont plus appréciés que les biscuits sablés au coco ($P < 0,05$).

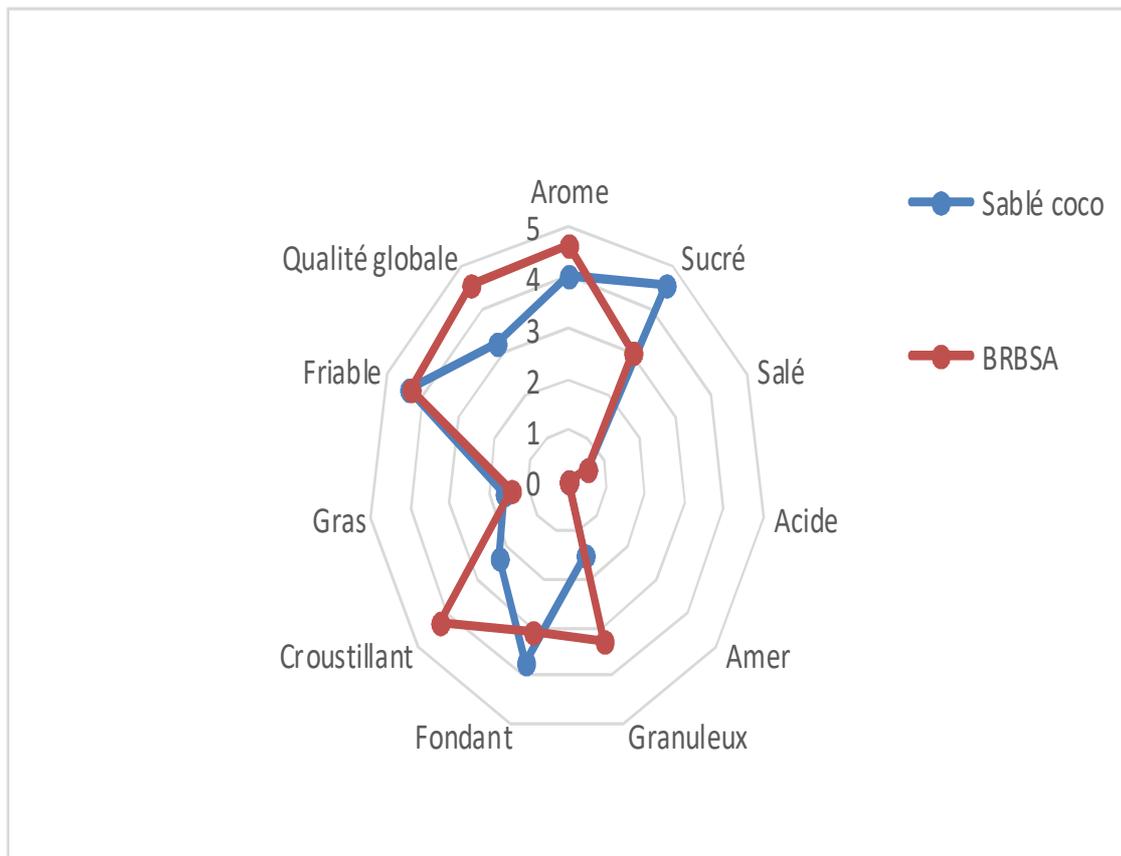


Figure 19: Acceptabilité des biscuits de riz-blé au safou acide (BRBSA) et des biscuits de blé sablé coco (RB-100)

III. 3.3. Composition nutritionnelle des biscuits

Les résultats présentant la composition nutritionnelle du biscuit optimisé, des biscuits de riz-blé simples, des biscuits de riz-blé enrichis au safou acide et les biscuits de riz-blé enrichis non acide sont présentés dans le tableau 25. L'analyse de la variance effectuée sur les données obtenues révèle que les traitements ont un effet significatif sur la composition nutritionnelle des biscuits. La teneur en eau des biscuits de riz-blé simple ($4,80 \pm 0,01\%$) est plus élevée que celle du biscuit optimisé ($4,45 \pm 0,00\%$), des biscuits de riz-blé au safou acide ($3,21 \pm 0,00\%$) et non acide ($2,9 \pm 0,06\%$). Concernant la teneur en lipides des biscuits, on constate que la substitution de la margarine par de la poudre de safou n'a pas modifiée de manière significative la teneur en lipides de ces biscuits. A l'opposé des lipides, on observe une augmentation des teneurs en protéines dans le biscuit optimisé ($10,13 \pm 0,80\%$), des biscuits de riz-blé safou acide ($8,25 \pm 0,00\%$), et non acide ($13,71 \pm 0,04\%$). Le biscuit optimisé et les biscuits enrichis au safou ont une teneur en glucides inférieure ($55,1 \pm 0,56\%$; $60,96 \pm 0,09\%$; $53,75 \pm 0,57\%$) à celle du biscuit riz-blé simple ($62,87 \pm 1,55\%$). Cependant, la différence entre la teneur en glucides du biscuit de riz-blé enrichis au safou non

acide et du biscuit optimisé ne sont pas significative. Parallèlement, la teneur en fibres brutes des biscuits simples est légèrement supérieure à celle des biscuits enrichis au safou, mais il n'existe pas de différence significative par rapport à celle des biscuits enrichis au safou non acides. la valeur énergétique du biscuit optimisé ($506 \pm 0,70$ kcal / g), du biscuit de riz-blé au safou acide (504,96 kcal / g) et du biscuit riz-blé au safou-non acide (497,13 kcal / g) sont similaire à celle du biscuit riz-blé simple (507,6 kcal / g).

La composition en acides aminés essentiels et non essentiels des différents types de biscuits est indiquée dans le tableau 26. On observe qu' après l'ajout des safous dans les biscuits riz-blé, des différences ont été observées que dans l'histidine (teneur plus élevée dans le BRBSNA-50) et la lysine (teneur plus faible dans le BRBSNA-50). L'ajout du safou aux combinaisons biscuits riz-blé n'augmente que les niveaux d'aspartate et de glycine.

Le tableau 27 présente la composition minérale des biscuits. Il en ressort que le potassium était toujours le minéral le plus abondant (0,172 g / 100 g) suivi du phosphore. Bien que les oligo-éléments fer et zinc soient plus élevés dans les biscuits que dans les safous, la quantité d'aluminium dans les biscuits (215,1 ppm) était plus élevée que dans les safous.

Tableau 25: La composition proximale du biscuit optimisé, des biscuits de riz-blé et des biscuits enrichis au safou acide et non acide

| Types de biscuit | Paramètres | | | | | |
|------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| | Eau (g/100MS) | Lipide (g/100MS) | Protéine (g/100MS) | Glucide (g/100MS) | Fibres brutes (g/100MS) | Energie (kcal/g) |
| Optimisé | 4,45±0,00 ^c | 25,38±0,02 ^a | 10,13±0,80 ^b | 55,1±0,56 ^a | 2,56±0,21 ^a | 506±0,70^{ab} |
| BRB-50 | 4,80±0,01 ^d | 25,41±0,86 ^a | 6,71±0,63 ^a | 62,87±1,55 ^b | 2,77±0,09 ^a | 507,6±4,07 ^b |
| BRBSA-50 | 3,21±0,00^b | 25,37±0,00 ^a | 8,25±0,00^{bc} | 60,90±0,09 ^b | 2,26±0,09 ^a | 504,96±0,43^{ab} |
| BRBSNA-50 | 2,9±0,06^a | 25,25±0,51 ^a | 13,71±0,04^c | 53,75±0,57 ^a | 2,47±0,12 ^a | 497,13±2,11^a |

Légende: BRB-50 = Biscuit de riz-blé , BRBSA-50 = biscuit de riz-blé au safou acide, BRBSNA-50 = biscuit de riz-blé au safou non acide. * les moyennes ± écarts-types portant en exposant les lettres minuscules différentes sur une même colonne sont significativement different $p < 0,05$

Tableau 26: Teneur en acide aminé des biscuits de riz-blé et des biscuits enrichis au safou acide et non acide

| Matériel | Acide aminé Essentiels (g/100g) | | | | | | | |
|-----------|---------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| | Phénylalanine | Valine | Thréonine | Isoleucine | Méthionine | Histidine | Leucine | Lysine |
| BRB-50 | 0,43±0,00 ^a | 0,41±0,14 ^a | 0,31±0,01 ^a | 0,33±0,01 ^a | 0,25±0,01 ^a | 0,26±0,00 ^a | 0,69±0,00 ^a | 0,31±0,00 ^b |
| BRBSA-50 | 0,45±0,02 ^a | 0,43±0,04 ^a | 0,33±0,03 ^a | 0,35±0,04 ^a | 0,29±0,02 ^a | 0,29±0,02 ^{ab} | 0,74±0,03 ^a | 0,32±0,01 ^b |
| BRBSNA-50 | 0,42±0,05 ^a | 0,41±0,07 ^a | 0,29±0,04 ^a | 0,27±0,02 ^a | 0,24±0,02 ^a | 0,32±0,01 ^b | 0,69±0,04 ^a | 0,26±0,01 ^a |

Légende: BRB-50 = Biscuit de riz-blé , BRBSA-50 = biscuit de riz-blé au safou acide, BRBSNA-50 = biscuit de riz-blé au safou non acide. * les moyennes ± écarts-types portant en exposant les lettres minuscules différentes sur une même colonne sont significativement different $p < 0,05$

| Types biscuits | Acide aminé non Essentiels (g/100g) | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Aspartate | Serine | Glutamate | Glycine | Alanine | Tyrosine | Gamma amino Butyrate | Ammonium Chloride | Proline | Arginine | Cystine |
| BRB-50 | 0,65±0,01 ^a | 0,54±0,01 ^{ab} | 2,3±0,02 ^a | 0,36±0,00 ^a | 0,43±0,00 ^a | 0,32±0,01 ^a | 0,00±00 ^a | 0,96±0,02 ^a | 0,68±0,14 ^a | 0,45±0,01 ^a | 0,17±0,02 ^a |
| BRBSA-50 | 0,79±0,01 ^b | 0,61±0,00 ^b | 2,33±0,06 ^a | 0,4±0,00 ^b | 0,5±0,00 ^b | 0,38±0,01 ^a | 0,00±00 ^a | 0,98±0,00 ^a | 0,75±0,00 ^a | 0,51±0,01 ^a | 0,19±0,01 ^a |
| BRBSNA-50 | 0,79±0,02 ^b | 0,51±0,00 ^a | 2,15±0,23 ^a | 0,41±0,00 ^b | 0,43±0,01 ^a | 0,35±0,03 ^a | 0,00±00 ^a | 0,91±0,09 ^a | 0,67±0,07 ^a | 0,46±0,04 ^a | 0,18±0,01 ^a |

Légende: BRB-50 = Biscuit de riz-blé , BRBSA-50 = biscuit de riz-blé au safou acide, BRBSNA-50 = biscuit de riz-blé au safou non acide. * les moyennes ± écarts-types portant en exposant les lettres minuscules différentes sur une même colonne sont significativement différent $p < 0,05$

Tableau 27: La teneur en minéraux du biscuit optimisé, des biscuits de riz-blé et des biscuits de riz-blé enrichis au safou

| Matériels | Teneur minéraux | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| | P (g/100g) | K (g/100g) | Ca (g/100g) | Mg (g/100g) | Na (g/100g) | Cu (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) | Al (ppm) | |
| Optimisé | 0,123 | 0,192 | 0,035 | 0,034 | 0,165 | 2,3 | 33,6 | 4,8 | 34,81 | 215,8 | |
| BRB-50 | 0,115 | 0,135 | 0,029 | 0,024 | 0,167 | 1,4 | 31,7 | 4,5 | 35,3 | 215,9 | |
| Types de biscuit | BRBSA-50 | 0,132 | 0,186 | 0,041 | 0,033 | 0,164 | 2,5 | 35,9 | 5,1 | 33,8 | 223,4 |
| | BRBSNA-50 | 0,129 | 0,176 | 0,034 | 0,032 | 0,161 | 2,6 | 36,7 | 5,1 | 34,2 | 205,3 |
| | Moyenne | 0,124 | 0,172 | 0,031 | 0,033 | 0,164 | 2,2 | 34,4 | 4,8 | 34,5 | 215,1 |
| | Ecart type | 0,007 | 0,025 | 0,008 | 0,008 | 0,018 | 0,5 | 2,26 | 0,2 | 0,6 | 7,4 |

Légende: BRB-50 = Biscuit de riz-blé-50% , BRBSA-50 = biscuit de riz-blé %au safou acide, BRBSNA-50% = biscuit de riz-blé au safou non acide.

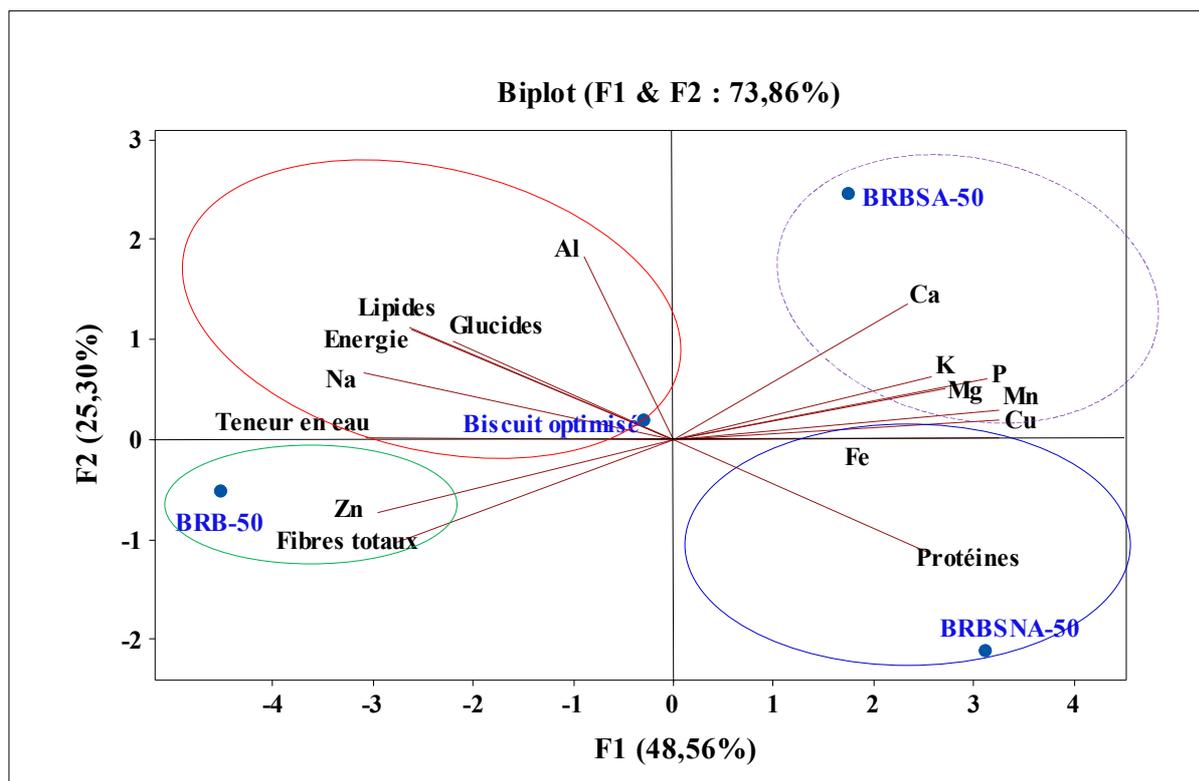


Figure 20: Distribution des différents biscuits et leur composition nutritionnelle sur le système d'axe F1 & F2.

Afin de visualiser les associations entre les différents biscuits et leur composition nutritionnelle, une représentation sur un système d'axe F1 & F2 a été effectuée. Globalement, on observe 4 groupes. Le premier est formé par les protéines, le fer et le biscuit supplémenté avec la farine de safou non acide (BRBSNA-50). Cette corrélation s'expliquerait par la proportion élevée de protéines et de fer dans la farine de safou non acide. En effet, les analyses effectuées sur la farine de safou non acide ont montré qu'il est très riche en protéines et en fer comparé au safou acide. Le second groupe est formé par le biscuit supplémenté au safou acide et le Ca, K, Mg, P, Cu et Mn. Cette observation démontre que le safou acide est une excellente source de minéraux tels que le Ca, K, Mg, P, Cu et Mn et son ajout dans les biscuits contribue à accroître leurs teneurs en ces minéraux. Ainsi, la consommation de biscuits supplémentés au safou acide permettra de prévenir et d'apporter une solution à certaines pathologies associées à la carence de ces minéraux. Le 3^e groupe est formé de zinc, de fibres et du biscuit BRB-50. Cette corrélation se justifierait par la teneur importante en fibre dans le riz et en zinc dans la farine de blé. En effet, les farines de blé vendues au Cameroun sont toutes fortifiées en zinc. Le 4^e groupe montre la corrélation entre la teneur en eau, Al, Na, l'énergie, les lipides, les glucides et le biscuit optimisé. Cette observation

souligne que le biscuit optimisé est très énergétique et pourrait être indiqué pour les personnes âgées.

III. 4. Stabilité des biscuits dans les emballages polypropylène et aluminium

III. 4.1. Dureté

Le tableau 28 présente l'évolution de la dureté des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps. Dans ce tableau, on observe que le biscuits de riz (BR100%) a une dureté plus faible $1,47 \pm 0,06 \times 10^3$ N et le biscuit de blé (BB100%) a la dureté la plus élevée $2,85 \pm 0,14 \times 10^3$ N. A partir du deuxième mois on observe une variation significative de la dureté de biscuit BB100%, BR100%, BR-50% alors que les biscuits de riz blé au safou ne présentent pas de variation jusqu'au dernier mois. La dureté des biscuits n'a pas changée pendant le stockage et le matériel d'emballage n'a pas affecté la dureté.

Tableau 28: Evolution de la dureté des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps

| Biscuits | Durée de stockage | | | | |
|--------------|--|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| BB100% Al | $2,27 \pm 0,12 \times 10^{3abAB}$ | $1,53 \pm 0,02 \times 10^{3abA}$ | $1,58 \pm 0,23 \times 10^{3aA}$ | $3,51 \pm 1,22 \times 10^{3bcB}$ | $3,52 \pm 1,23 \times 10^{3bcB}$ |
| BB100% PP | $2,85 \pm 0,14 \times 10^{3bB}$ | $1,76 \pm 0,01 \times 10^{3bcA}$ | $3,47 \pm 0,25 \times 10^{3dC}$ | $3,97 \pm 0,35 \times 10^{3cC}$ | $4,09 \pm 0,40 \times 10^{3abC}$ |
| BR100% Al | $2,61 \pm 0,82 \times 10^{3abB}$ | $1,06 \pm 0,07 \times 10^{3aA}$ | $1,64 \pm 0,11 \times 10^{3abB}$ | $2,33 \pm 0,44 \times 10^{3aB}$ | $2,10 \pm 0,38 \times 10^{3aB}$ |
| BR100% PP | $1,47 \pm 0,06 \times 10^{3abA}$ | $2,32 \pm 0,00 \times 10^{3deB}$ | $2,54 \pm 0,34 \times 10^{3bcC}$ | $2,36 \pm 0,06 \times 10^{3aBC}$ | $2,61 \pm 0,05 \times 10^{3abC}$ |
| BRB-50 Al | $1,18 \pm 0,90 \times 10^{3aAB}$ | $3,03 \pm 0,57 \times 10^{3ghB}$ | $2,31 \pm 0,10 \times 10^{3abcA}$ | $2,80 \pm 0,93 \times 10^{3abAB}$ | $2,83 \pm 0,98 \times 10^{3abAB}$ |
| BRB-50 PP | $2,17 \pm 0,85 \times 10^{3abA}$ | $1,83 \pm 0,41 \times 10^{3cdeA}$ | $1,97 \pm 0,42 \times 10^{3abcA}$ | $2,07 \pm 0,27 \times 10^{3aA}$ | $2,23 \pm 0,32 \times 10^{3aA}$ |
| BRBSA-50 Al | $2,06 \pm 0,62 \times 10^{3abA}$ | $2,55 \pm 0,25 \times 10^{3fgA}$ | $2,77 \pm 0,13 \times 10^{3cdA}$ | $2,69 \pm 0,49 \times 10^{3abA}$ | $2,59 \pm 0,50 \times 10^{3abA}$ |
| BRBSA-50 PP | $2,20 \pm 0,41 \times 10^{3abA}$ | $3,10 \pm 0,12 \times 10^{3hA}$ | $2,45 \pm 0,70 \times 10^{3abcA}$ | $2,75 \pm 0,30 \times 10^{3abA}$ | $2,66 \pm 0,28 \times 10^{3abA}$ |
| BRBSNA-50 Al | $2,55 \pm 0,96 \times 10^{3bA}$ | $2,17 \pm 0,268 \times 10^{3defA}$ | $2,17 \pm 0,14 \times 10^{3abcA}$ | $2,15 \pm 0,13 \times 10^{3aA}$ | $2,16 \pm 0,06 \times 10^{3aA}$ |
| BRBSNA-50 PP | $2,41 \pm 0,26 \times 10^{3abA}$ | $2,47 \pm 0,50 \times 10^{3fA}$ | $2,69 \pm 0,18 \times 10^{3cdA}$ | $2,49 \pm 0,43 \times 10^{3aA}$ | $2,63 \pm 0,33 \times 10^{3abA}$ |

Les moyennes \pm écarts-types portant en exposant les mêmes lettres minuscules sur une même colonne ou les mêmes lettres majuscules sur une même ligne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$). References: Biscuit = BRSNA, Emballage-P: Polypropylène. Légende: Emballage-A=Aluminium, BRB-50 = Biscuit de riz-blé-50%, BB100=biscuit de blé 100% ,BR100%=biscuit de riz100%,BRB-50=biscuit de riz-blé 50%,BRBSA-50 = biscuit de riz-blé 50% au safou acide, BRBSNA-50% = biscuit de riz-blé au safou non acide.

III. 4.2. Couleur

Le Tableau 29 montre l'évolution de la couleur (L^* , a^* , b^*) des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps. Le tableau montre qu'au premier mois les résultats de la clarté (L^*) des biscuits des BRB-50% ($65,85 \pm 0,77$; $65,05 \pm 0,21$), des biscuits de riz blé au safou acide ($53,13 \pm 0,99$; $52,05 \pm 0,91$) et non acide ($57,45 \pm 0,63$; $56,20 \pm 0,84$) diffèrent significativement ($p < 0,05$) en fonction du type de biscuit. Après cinq mois de stockage on constate que les biscuits BRBSNA-50 ($58,10 \pm 0,56$; $56,70 \pm 0,84$) et BRBSA-50 ($51,95 \pm 0,97$; $53,25 \pm 0,91$) ont toujours une couleur plus sombre par rapport aux biscuits de BR100% ($64,49 \pm 1,41$; $66,22 \pm 0,60$), BRB-50 ($66,85 \pm 0,63$; $66,45 \pm 1,50$) et BB100 ($63,28 \pm 0,71$; $60,25 \pm 2,13$). On note également que les valeurs de L^* des biscuits de riz-blé au safou acide et non acide ne varient pas avec le temps de stockage.

L'indice a^* relatif à la couleur rouge du biscuit est supérieur dans les biscuits de blé (BB100%) ($18,70 \pm 0,84$; $17,25 \pm 0,63$) et inférieur dans les biscuits de riz blé au safou non acide BRBSNA-50 ($13,55 \pm 0,07$; $13,65 \pm 0,35$) et ne varie pas durant les cinq mois.

L'indice b^* relatif à la couleur jaune varie significativement entre les types de biscuits, il est faible pour le biscuit de riz-blé au safou non acide BRBSNA ($29,75 \pm 0,35$; $31,05 \pm 0,91$) et élevé pour le biscuit de riz 100% BR100% ($34,65 \pm 0,07$; $31,95 \pm 0,35$).

Tableau 29: Evolution de la couleur (L^* , a^* , b^*) des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps.

| Paramètres de couleur | Echantillons | Durée de conservation (mois) | | | | |
|----------------------------------|--------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| <i>Clarté : L^*</i> | | | | | | |
| | BB100% Al | $62,25 \pm 0,21^{cA}$ | $61,25 \pm 0,91^{cA}$ | $60,25 \pm 0,98^{cdA}$ | $62,35 \pm 0,27^{cA}$ | $63,28 \pm 0,71^{cA}$ |
| | BB100% PP | $61,66 \pm 2,03^{cA}$ | $62,33 \pm 1,93^{cdA}$ | $61,15 \pm 0,83^{cdeA}$ | $60,80 \pm 0,28^{cA}$ | $60,25 \pm 2,13^{cA}$ |
| | BR100% Al | $64,95 \pm 1,34^{cA}$ | $63,15 \pm 1,84^{dA}$ | $65,05 \pm 0,43^{efA}$ | $64,35 \pm 1,39^{dA}$ | $64,49 \pm 1,41^{dA}$ |
| | BR100% PP | $65,10 \pm 0,77^{dA}$ | $66,31 \pm 0,70^{dA}$ | $65,20 \pm 1,06^{fA}$ | $66,61 \pm 0,70^{dA}$ | $66,22 \pm 0,60^{dA}$ |

| | | | | | |
|--------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| BRB-50 AI | 65,85 ± 0,77 ^{dB} | 65,35 ± 1,35 ^{dB} | 64,00 ± 2,12 ^{defAB} | 62,25 ± 1,62 ^{cA} | 66,85 ± 0,63 ^{dB} |
| BRB-50 PP | 65,05 ± 0,21 ^{dB} | 64,55 ± 0,49 ^{dB} | 61,30 ± 0,56 ^{abA} | 64,70 ± 0,84 ^{dB} | 66,45 ± 1,50 ^{dB} |
| BRBSA-50 AI | 53,13 ± 0,99 ^{aA} | 53,05 ± 0,91 ^{aA} | 52,35 ± 0,41 ^{aA} | 52,75 ± 0,81 ^{aA} | 51,95 ± 0,97^{aA} |
| BRBSA-50 PP | 52,05 ± 0,91 ^{aA} | 52,08 ± 0,91 ^{aA} | 52,65 ± 0,91 ^{aA} | 53,15 ± 0,91 ^{aA} | 53,25 ± 0,91^{aA} |
| BRBSNA-50 AI | 57,45 ± 0,63 ^{bA} | 57,50 ± 0,56 ^{bA} | 58,00 ± 0,01 ^{bA} | 58,80 ± 0,56 ^{bA} | 58,10 ± 0,56^{bA} |
| BRBSNA-50 PP | 56,20 ± 0,84 ^{bA} | 55,70 ± 0,84 ^{bA} | 56,70 ± 0,84 ^{bA} | 56,43 ± 0,84 ^{bA} | 56,70 ± 0,84^{bA} |

Indice de rouge a*

| | | | | | |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| BB100% AI | 17,25 ± 0,63 ^{cA} | 17,25 ± 0,63 ^{cdA} | 17,25 ± 0,63 ^{cA} | 17,25 ± 0,63 ^{cA} | 17,25 ± 0,63 ^{dA} |
| BB100% PP | 18,70 ± 0,84 ^{cA} | 18,55 ± 0,63 ^{dA} | 18,35 ± 0,07 ^{dA} | 18,35 ± 0,07 ^{cA} | 18,35 ± 0,07^{dA} |
| BR100% AL | 15,50 ± 0,70 ^{bA} | 15,50 ± 0,70 ^{cA} |
| BR100% PP | 15,35 ± 0,77 ^{bA} | 14,50 ± 0,70 ^{abA} | 14,70 ± 0,28 ^{abA} | 14,55 ± 0,21 ^{abA} | 14,55 ± 0,21 ^{abcA} |
| BRB-50 AI | 14,35 ± 0,49 ^{abA} | 14,35 ± 0,49 ^{abA} | 14,35 ± 0,49 ^{abA} | 14,35 ± 0,49 ^{aA} | 14,35 ± 0,49 ^{abcA} |
| BRB-50 PP | 14,50 ± 0,00 ^{abA} | 14,30 ± 0,70 ^{abA} | 14,30 ± 0,70 ^{abA} | 14,30 ± 0,70 ^{aA} | 14,30 ± 0,70 ^{abcA} |
| BRBSA-50 AI | 14,65 ± 0,21 ^{abA} | 15,65 ± 1,20 ^{bcA} | 14,01 ± 1,13 ^{abA} | 14,50 ± 0,42 ^{abA} | 15,30 ± 0,70 ^{bcA} |
| BRBSA-50 PP | 14,50 ± 1,55 ^{abA} | 14,15 ± 1,06 ^{abA} | 14,60 ± 1,69 ^{abA} | 13,90 ± 0,70 ^{aA} | 13,90 ± 0,70 ^{aA} |
| BRBSNA-50 AL | 13,55 ± 0,07 ^{aA} | 14,25 ± 0,35 ^{abA} | 14,25 ± 0,35 ^{abA} | 14,25 ± 0,35 ^{aA} | 14,00 ± 0,98 ^{abA} |
| BRBSNA-50 PP | 13,65 ± 0,35 ^{aA} | 13,65 ± 0,63 ^{aA} | 13,65 ± 0,35 ^{aA} | 13,65 ± 0,35 ^{aA} | 13,65 ± 0,35^{aA} |

Indice de jaune b*

| | | | | | |
|-----------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| BB100% AI | 31,85 ± 0,35 ^{cA} | 31,89 ± 0,66 ^{cA} | 31,87 ± 0,45 ^{cA} | 31,65 ± 0,15 ^{cA} | 31,15 ± 0,79 ^{cA} |
| BB100% PP | 31,75 ± 0,49 ^{bcA} | 31,35 ± 0,49 ^{cA} | 31,45 ± 0,49 ^{cA} | 31,25 ± 0,49 ^{cA} | 30,25 ± 0,99 ^{bcA} |
| BR100% AL | 34,65 ± 0,07 ^{dA} | 34,75 ± 0,17 ^{cA} | 34,75 ± 0,27 ^{dA} | 33,75 ± 0,57 ^{dA} | 33,75 ± 0,70 ^{cA} |

| | | | | | |
|--------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| BR100% PP | 31,95 ± 0,35 ^{cA} | 31,95 ± 0,35 ^{cA} | 31,95 ± 0,35 ^{cA} | 31,95 ± 0,35 ^{cA} | 31,85 ± 0,97 ^{bcA} |
| BRB-50 Al | 32,85 ± 0,91 ^{cA} | 33,80 ± 0,19 ^{dA} | 33,20 ± 0,04 ^{dA} | 33,10 ± 0,32 ^{dA} | 33,35 ± 0,69 ^{dA} |
| BRB-50 PP | 33,8 ± 0,14 ^{dA} | 31,85 ± 0,91 ^{cA} | 31,75 ± 0,31 ^{cA} | 30,85 ± 0,89 ^{cA} | 32,15 ± 0,56 ^{cdA} |
| BRBSA-50 Al | 31,07 ± 0,09 ^{bcA} | 31,20 ± 0,02 ^{bcA} | 31,03 ± 0,00 ^{bcA} | 31,10 ± 0,62 ^{bcA} | 31,09 ± 0,06 ^{abcA} |
| BRBSA-50 PP | 30,85 ± 0,77 ^{abcA} | 31,10 ± 0,42 ^{bcA} | 31,10 ± 0,42 ^{bcA} | 31,10 ± 0,86 ^{bcA} | 31,10 ± 0,48 ^{bcA} |
| BRBSNA-50 AL | 29,75 ± 0,35^{AA} | 29,65 ± 0,35 ^{aA} | 28,85 ± 0,35 ^{aA} | 28,95 ± 0,77 ^{aA} | 29,87 ± 1,27 ^{aA} |
| BRBSNA-50 PP | 31,05 ± 0,91 ^{abA} | 31,00 ± 0,91 ^{abA} | 31,05 ± 0,01 ^{abA} | 30,12 ± 0,25 ^{abA} | 31,05 ± 0,94 ^{abA} |

Les moyennes ± écarts-types portant en exposant les mêmes lettres minuscules sur une même colonne ou les mêmes lettres majuscules sur une même ligne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$). Légende: PP: Polypropylène, Al=Aluminium, BRB-50 =Biscuit de riz-blé-50%, BB100=biscuit de blé 100% ,BR100%=biscuit de riz100%, BRB-50=biscuit de riz-blé 50%, BRBSA-50 = biscuit de riz-blé 50%au safou acide, BRBSNA-50% = biscuit de riz-blé au safou non acide.

III. 4.3. L'humidité

La teneur en humidité correspond à l'humidité totale, c'est-à-dire à l'eau liée et à l'eau libre présente dans l'échantillon (**Worobo et Padilla-Zakour, 1999**). La teneur en humidité de tout produit est importante pour la durée de vie et elle diminue ou augmente pendant la période de conservation en fonction des conditions de stockage et du matériel d'emballage. C'est le critère décisif pour les propriétés organoleptiques et l'acceptabilité par les consommateurs. Le tableau 30 montre évolution de l'humidité des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps. Plus on stocke les biscuits, la teneur en humidité s'élève également. Les taux d'humidités initiaux des BRBSA en début de stockage sont respectivement de $1,433 \pm 0,115\%$ et $1,500 \pm 0,000\%$ pour les emballages aluminium et polypropylène. Au bout de cinq mois de tockage ceux-ci sont de **$2,000 \pm 0,005\%$** et $3,100 \pm 0,000\%$. Ces résultats montrent ainsi une faible variation des taux d'humidité durant la période de stockage. Le BB-100 (PP) a enregistré une teneur en humidité le plus élevée avec $4,133 \pm 0,050\%$ tandis que le BRBSA-50 (Al) et le BR100% (Al) ont enregistré des teneurs en humidité plus faible avec les valeurs de $2,000 \pm 0,005\%$ et de $2,500 \pm 0,000\%$ respectivement ($p < 0,05$). De façon globale, les biscuits stockés dans des emballages en

aluminium ont enregistré une teneur en humidité inférieure à ceux stockés dans des sacs en polypropylène ($p < 0,05$).

Tableau 30: Evolution de l'humidité des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps.

| Echantillons | Durée de stockage (mois) | | | | |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| BB100% Al | 2,900 ± 0,000 ^{hA} | 3,066 ± 0,057 ^{dAB} | 3,100 ± 0,000 ^{aB} | 3,100 ± 0,000 ^{aB} | 3,200 ± 0,000 ^{bC} |
| BB100% PP | 3,033 ± 0,057 ^{hA} | 3,700 ± 0,001 ^{dB} | 3,700 ± 0,000 ^{cB} | 3,833 ± 0,057 ^{bB} | 4,133 ± 0,050^{bC} |
| BR100% AL | 2,166 ± 0,057 ^{cA} | 2,166 ± 0,057 ^{deA} | 2,500 ± 0,000 ^{cdB} | 2,500 ± 0,100 ^{cB} | 2,500 ± 0,000^{aB} |
| BR100% PP | 2,900 ± 0,000 ^{hA} | 2,900 ± 0,000 ^{eA} | 2,900 ± 0,000 ^{gA} | 3,000 ± 0,001 ^{dB} | 3,166 ± 0,152 ^{bB} |
| BRB-50 Al | 2,200 ± 0,001 ^{dA} | 2,543 ± 0,051 ^{eB} | 2,700 ± 0,001 ^{eC} | 2,800 ± 0,000 ^{fd} | 2,800 ± 0,000 ^{abD} |
| BRB-50 PP | 1,966 ± 0,115 ^{bA} | 2,333 ± 0,503 ^{eBC} | 2,600 ± 0,001 ^{cB} | 2,800 ± 0,00 ^{fgC} | 2,900 ± 0,000 ^{abD} |
| BRBSA-50 Al | 1,433 ± 0,115^{aA} | 1,866 ± 0,115 ^{aB} | 1,900 ± 0,001 ^{dB} | 1,800 ± 0,002 ^{gB} | 2,000 ± 0,005^{abC} |
| BRBSA-50 PP | 1,500 ± 0,000^{aA} | 2,700 ± 0,000 ^{aB} | 3,033 ± 0,057 ^{fc} | 3,066 ± 0,057 ^{ec} | 3,100 ± 0,000^{bD} |
| BRBSNA-50 AL | 2,366 ± 0,000 ^{eB} | 2,733 ± 0,057 ^{bC} | 2,166 ± 0,057 ^{bA} | 2,666 ± 0,288 ^{fgC} | 2,800 ± 0,030 ^{bC} |
| BRBSNA-50 PP | 2,600 ± 0,001 ^{fA} | 2,933 ± 0,057 ^{dB} | 3,033 ± 0,057 ^{hB} | 3,100 ± 0,000 ^{hC} | 3,100 ± 0,00 ^{cC} |

Les moyennes ± écarts-types portant en exposant les mêmes lettres minuscules sur une même colonne ou les mêmes lettres majuscules sur une même ligne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$). Légende: Al=aluminium, PP=Polypropylène, BRB-50 = Biscuit de riz-blé-50%, BB100=biscuit de blé 100% ,BR100%=biscuit de riz100%, BRB-50=biscuit de riz-blé 50%, BRBSA-50 = biscuit de riz-blé 50% au safou acide, BRBSNA-50% = biscuit de riz-blé au safou non acide

III. 4.4. L'indice de peroxyde

L'indice de peroxyde qui renseigne également sur l'altération de la matière grasse, permet de quantifier les hydroperoxydes d'acides gras présents dans la matière grasse analysée. Ces composés sont les produits primaires de l'oxydation des lipides. Le tableau 31 présente l'évolution de l'indice de peroxyde des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps. La durée de stockage, le type de biscuit ont influencé le taux de l'indice de peroxyde. Les valeurs de l'indice de peroxyde sont de $0,05 \pm 0,00$ meqO₂/kg d'huile pour le biscuit de riz-blé au safou acide(BRBSA-AL) et de $0,15 \pm 0,04$ meq O₂/kg d'huile pour le biscuit au blé (BB100% PP). Plus on effectue le stockage des biscuits, on note une augmentation des taux de l'indice de peroxyde. Les valeurs de l'indice de peroxyde des BRBSNA et du BRBSA sont semblable et supérieur par rapport à d'autres types de biscuits pour des valeurs de $0,13 \pm 0,082$ meqO₂/kg d'huile; $0,13 \pm 0,07$ meqO₂/kg d'huile et de $0,06 \pm 0,00$ meqO₂/kg d'huile; $0,12 \pm 0,06$ meqO₂/kg d'huile. Les biscuits de riz au safou acides et non acides ont enregistré des valeurs d'indice de peroxyde légèrement plus faibles que les biscuits

non-safou, Par ailleurs, la comparaison des types emballages a montré que les biscuits emballés au polypropylène ont un taux d'indice de peroxyde plus grand que les biscuits emballés et stocké dans les emballages en aluminium.

Tableau 31: Evolution de l'indice de peroxyde des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps.

| Biscuits | Durée de stockage (mois) | | | | |
|--------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| BB100% Al | 0,09 ± 0,00 ^{ba} | 0,60 ± 0,03 ^{eb} | 1,31 ± 0,04 ^{ec} | 1,81 ± 0,04 ^{ed} | 2,05 ± 0,07 ^{ee} |
| BB100% PP | 0,15 ± 0,04 ^{ca} | 0,91 ± 0,07 ^{fb} | 1,57 ± 0,02 ^{fc} | 2,10 ± 0,11 ^{fd} | 2,47 ± 0,22 ^{fe} |
| BR100% Al | 0,06 ± 0,00 ^{abA} | 0,09 ± 0,00 ^{abA} | 0,15 ± 0,02 ^{bb} | 0,28 ± 0,03 ^{bc} | 0,91 ± 0,02 ^{bd} |
| BR100% PP | 0,08 ± 0,04 ^{abA} | 0,13 ± 0,02 ^{bcA} | 0,30 ± 0,01 ^{cb} | 0,64 ± 0,07 ^{cc} | 1,00 ± 0,01 ^{bcd} |
| BRB-50 Al | 0,083 ± 0,01 ^{abA} | 0,14 ± 0,03 ^{cb} | 0,20 ± 0,02 ^{bc} | 0,60 ± 0,11 ^{cd} | 1,17 ± 0,07 ^{ce} |
| BRB-50 PP | 0,09 ± 0,01 ^{abA} | 0,23 ± 0,03 ^{db} | 0,51 ± 0,04 ^{dc} | 0,87 ± 0,14 ^{dd} | 1,46 ± 0,07 ^{de} |
| BRBSA-50 Al | 0,05 ± 0,00 ^{aA} | 0,06 ± 0,00 ^{aA} | 0,06 ± 0,01 ^{aA} | 0,07 ± 0,01 ^{aA} | 0,06 ± 0,00^{aA} |
| BRBSA-50 PP | 0,065 ± 0,001 ^{abA} | 0,071 ± 0,01 ^{aA} | 0,07 ± 0,01 ^{aA} | 0,09 ± 0,02 ^{aA} | 0,12 ± 0,06^{aA} |
| BRBSNA-50 Al | 0,064 ± 0,002 ^{abA} | 0,073 ± 0,02 ^{aA} | 0,08 ± 0,00 ^{aA} | 0,06 ± 0,01 ^{aA} | 0,13 ± 0,08^{aA} |
| BRBSNA-50 PP | 0,068 ± 0,001 ^{abA} | 0,08 ± 0,01 ^{aA} | 0,07 ± 0,02 ^{aA} | 0,10 ± 0,04 ^{aA} | 0,13 ± 0,07^{aA} |

Les moyennes ± écarts-types portant en exposant les mêmes lettres minuscules sur une même colonne ou les mêmes lettres majuscules sur une même ligne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$). Légende: Al=Aluminium, PP=Polypropylène BRB-50 = Biscuit de riz-blé-50% , BB100=biscuit de blé 100% ,BR100%=biscuit de riz100%,BRB-50=biscuit de riz-blé 50%,BRBSA-50 = biscuit de riz-blé 50%au safou acide, BRBSNA-50% = biscuit de riz-blé au safou non acide

III.4.5. Malondialdéhydes

Le taux de malondialdéhyde résulte de la peroxydation lipidique d'acides gras polyinsaturés (**Draper et al., 1990**). Leur accumulation est responsable du développement d'odeurs de rance et de l'arôme désagréable des huiles. Le tableau 32 illustre l'évolution de l'indice d'acide thiobarbiturique des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps. Le taux malondialdéhyde (MDA) a augmenté avec la durée de stockage et était significativement plus faible dans les biscuits de BB-100%, de BRBSA50%(0,095 ± 0,005µmol/l; 0,093 ± 0,008µmol/l) par rapport à BRBSNA-50%(0,096 ± 0,002 µmol/l; 0,099 ± 0,007µmol/l) et par rapport aux autres biscuits BR-100% ($p < 0,05$). En outre, elle était

significativement élevée dans les biscuits emballés au polypropylène et stocké pendant 5 mois.

Tableau 32: Evolution de l'indice d'acide thiobarbiturique des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps.

| Biscuits | Durée de stockage (mois) | | | | |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| BB100% Al | 0,034 ± 0,001 ^{abA} | 0,037 ± 0,001 ^{abB} | 0,038 ± 0,002 ^{aB} | 0,110 ± 0,001 ^{cC} | 0,114 ± 0,003 ^{bD} |
| BB100% PP | 0,039 ± 0,001 ^{bcA} | 0,040 ± 0,002 ^{bA} | 0,038 ± 0,002 ^{aA} | 0,100 ± 0,001 ^{bcC} | 0,105 ± 0,001 ^{abD} |
| BR100% AL | 0,030 ± 0,002^{aA} | 0,035 ± 0,002 ^{aB} | 0,038 ± 0,002 ^{aC} | 0,115 ± 0,018 ^{cdD} | 0,117 ± 0,016 ^{bD} |
| BR100% PP | 0,062 ± 0,001 ^{fA} | 0,066 ± 0,001 ^{eB} | 0,068 ± 0,000 ^{dB} | 0,112 ± 0,015 ^{cC} | 0,118 ± 0,015 ^{bC} |
| BRB-50 Al | 0,053 ± 0,005 ^{eA} | 0,054 ± 0,001 ^{dA} | 0,055 ± 0,002 ^{eA} | 0,100 ± 0,010 ^{bcB} | 0,103 ± 0,009 ^{abB} |
| BRB-50 PP | 0,048 ± 0,004 ^{eA} | 0,048 ± 0,000 ^{cA} | 0,049 ± 0,000 ^{bA} | 0,093 ± 0,005 ^{bB} | 0,106 ± 0,005 ^{bC} |
| BRBSA-50 Al | 0,046 ± 0,003 ^{dA} | 0,047 ± 0,002 ^{cA} | 0,047 ± 0,002 ^{bA} | 0,091 ± 0,004 ^{bB} | 0,093 ± 0,005^{aB} |
| BRBSA-50 PP | 0,050 ± 0,005 ^{eA} | 0,052 ± 0,003 ^{cdA} | 0,053 ± 0,005 ^{bcA} | 0,089 ± 0,008 ^{abB} | 0,095 ± 0,008^{aB} |
| BRBSNA-50 AL | 0,041 ± 0,001 ^{cdA} | 0,041 ± 0,001 ^{bA} | 0,055 ± 0,013 ^{bcB} | 0,074 ± 0,008 ^{aC} | 0,096 ± 0,002^{aD} |
| BRBSNA-50 PP | 0,063 ± 0,007^{fA} | 0,070 ± 0,006 ^{eAB} | 0,079 ± 0,003 ^{eB} | 0,092 ± 0,003 ^{bC} | 0,099 ± 0,007^{aC} |

Les moyennes ± écarts-types portant en exposant les mêmes lettres minuscules sur une même colonne ou les mêmes lettres majuscules sur une même ligne ne sont pas significativement différentes (p<0,05). Légende: Al=Aluminium, PP:Polypropylène. BRB-50= Biscuit de riz-blé-50%, BB100=biscuit de blé 100%, BR100%=biscuit de riz100%, BRB-50=biscuit de riz-blé 50%, BRBSA-50 = biscuit de riz-blé 50%au safou acide, BRBSNA-50% =biscuit de riz-blé au safou non acide

CHAPITRE IV: DISCUSSION

IV. DISCUSSION

IV.1. Optimisation des paramètres sensorielles

Sur le plan du développement d'une formulation des biscuits à base de la farine de riz et de la poudre de safou. Le premier objectif avait pour but d'optimiser les paramètres sensorielles afin d'évaluer l'effet des interactions entre la farine de riz et de blé; la margarine et la poudre de safou permettant d'obtenir des quantités adéquates pour un biscuit de riz au safou agréable. L'analyse de la variance du modèle de surface de réponse polynomiale du second ordre et la signification des termes des modèles sont respectivement représentées dans les tableaux 11, 12, 13, 14, pour la granulométrie, le caractère fondant, la forme, la croustillance, la dureté, l'arôme et la qualité globale. Après analyse, les valeurs de R^2 de la croustillance, la dureté et l'arôme sont supérieures à 80%. Ce qui montre que ces modèles de second ordre expliquent plus de 80% du phénomène observé de chaque réponse et peuvent être considérée comme valide. Ce qui est confirmé par **Joglekar et May (1987)** qui montre que ces modèles peuvent être considérés comme valide. Pour ce qui en est, des valeurs des R^2 des modèles proposés pour la granulométrie, la forme, du caractère fondant, la qualité globale et R^2 ajusté, ces modèle mathématiques ont présenté une plus faible valeur de R^2 . Ceci pourrait se justifier par la complexité de ce paramètre sensoriel donc le degré d'appréciation a été très variables d'un paneliste à l'autre. En plus, les valeurs de la probabilité pour le test de manque d'adéquation dans les tableaux 11, 12, 13, 14 sont toutes supérieures à 0,05. Ce qui indique que les différents modèles semblent adéquats pour les données observées au niveau de confiance de 95%. Pour les valeurs de l'AADM de toutes les réponses mesurées tendent vers 0. Ce qui corrobore avec les travaux de **Bas et Boyac (2007)** qui ont souligné qu'un modèle mathématique est valide lorsque la valeur de l'AADM tend vers 0. Enfin, les valeurs du facteur polarisé d'exactitude (Af) et celles du facteur polarisé (Bf) sont toutes comprises entre 0,75 et 1,25. Ce qui en accord avec **Ross (1996)** qui a souligné que les modèles peuvent être utilisés pour expliquer les données observées.

S'agissant de l'effet des facteurs sur les facteurs mesurés en prenant en compte les facteurs suivants tels que la quantité de safou, et de quantité de margarine, on observe les modifications suivantes. S'agissant de la granulométrie, elle est définie comme une propriété géométrique de texture liée à la perception de la dimension, de la forme et du nombre des particules d'un produit (figure 7A). L'augmentation de la granulométrie avec l'ajout simultanée du safou et de la margarine dans les biscuits pourrait s'expliquer par la taille des particules de farine de riz présente dans la formulaton. En effet, la taille des particules de la farine de riz utilisée dans

cette étude était supérieure à celle du blé. Le produit fini aurait un nombre important de particules de grande taille facilement perceptible. La taille des particules de farine a également été rapportée dans la littérature comme étant un facteur important affectant la qualité des produits de boulangerie. (Araki *et al.*, 2016) stipule que la taille des particules de la farine de riz est plus grande que celle du blé. Celle-ci influencerait la granulométrie des biscuits de riz après la cuisson. Le caractère fondant (7B) est défini comme la capacité d'un morceau de biscuit à se dissoudre plus ou moins rapidement dans la bouche sous l'effet de la salive. Elle est perçue pour les proportions de safou et de margarine supérieures à 450g, ou les biscuits sont fondants. Ceci peut s'expliquer par l'augmentation des matières grasses dans les biscuits suite à l'ajout de poudre de safou qui également est riche en lipides. En effet, la matière grasse est l'ingrédient principal responsable de la tendreté des biscuits, la conservation, la texture et la qualité organoleptique (O'Brien *et al.*, 2003). Baltsavias *et al.*, (1999) ont également souligné dans leurs travaux que les propriétés mécaniques des biscuits dépendent largement de la composante de la matière grasse utilisée lors de la formulation. L'interaction entre les matières grasses et d'autres ingrédients a été soulignée par Giese (1996) et Stauffer (1998) comme étant un élément qui permet de développer et modeler la texture, la sensation en bouche et la sensation globale et ainsi que le pouvoir lubrifiant du produit. Pour ce qui concerne la forme, l'augmentation de la quantité de safou contribue à diminuer la perception de la forme des biscuits par les panelistes. La même observation a été faite lorsque la quantité de margarine augmente. Ceci peut s'expliquer par une proportion importante de matières grasses dans le biscuit. En effet, la forme du biscuit résulte de l'aptitude des constituants protéiques et glucidiques de la farine à former un gel stable lors du pétrissage. Ainsi, un apport en matière grasses fragiliserait le gel formé et serait à l'origine d'un ramollissement de la pâte avec comme conséquence une perte de la forme. Pour ce qui concerne le paramètre de la dureté, elle augmente avec l'ajout de la poudre de safou 8E. Ceci pourrait s'expliquer par la capacité d'absorption d'eau de la poudre de safou. En effet, la poudre de safou a montré une capacité d'absorption d'eau de 724%. Ce qui rend la pâte difficile à pétrir et par conséquent permet d'avoir un biscuit de dureté élevée. Des études similaires menées par Abhinay *et al.* (2018) ont montré que l'incorporation de la poudre de *Dolichos lablab* (qui a une capacité d'absorption d'eau élevée du fait de sa richesse en protéines et fibres) a entraîné une augmentation de la dureté des biscuits. En outre, l'augmentation de la quantité de margarine a plutôt présenté l'effet inverse sur la dureté des biscuits. Ceci pourrait s'expliquer par l'effet ramollissant que les matières grasses entraînent sur les biscuits. Chakrabarti *et al.* (2017) ont également notifié que l'une des raisons de

l'utilisation de graisses dans les biscuits est d'adoucir et d'attendrir la texture en plus d'ajouter de la saveur. Quant à l'arôme, il est un critère sensoriel important que les gens utilisent pour évaluer la qualité et la désirabilité d'un produit alimentaire (**Brown, 2005**). Lorsque la quantité de poudre de safou est importante, l'arôme caractéristique du biscuit n'est pas perceptible (Figure 8 F). En effet, le safou est un aliment riche en composés aromatiques qui lui confère un arôme spécifique. Ainsi, l'arôme de biscuits qui se développe durant la cuisson par le biais de la réaction de Maillard serait masqué lorsque la proportion de la poudre de safou augmente. De même, l'influence des constituants de la poudre de safou dans le produit peut conduire à la production d'un arôme distinct lorsque les glucides sont chauffés. Une observation similaire a été rapportée par **Yildiz (2010)**. Cet auteur a conclu que lorsque les farines sont chauffées, l'interaction entre leurs constituants peut produire un arôme désirable ou indésirable dans le produit cuit. Par ailleurs, une augmentation de l'arôme désirable des biscuits avec les quantités de margarine a été notée. Ce qui souligne une contribution importante de la margarine dans le développement de l'arôme des biscuits. Pour ce qui concerne l'effet d'une variation simultanée de la quantité de margarine et la quantité de poudre de safou sur la qualité globale présenté dans la figure 8G, La qualité globale des biscuits est réduite avec l'augmentation de la quantité de la poudre de safou. Ceci pourrait s'expliquer par l'impact de la poudre de safou sur les facteurs déterminants de l'acceptabilité des produits que sont les paramètres texturaux et l'arôme. Il ressort de la figure 8G qu'une augmentation de la quantité de margarine permet d'améliorer la qualité globale des biscuits. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la matière grasse est le principal ingrédient responsable de la tendreté des biscuits, la texture et la qualité organoleptique tel que rapporté par **O'Brien et al., (2003)**. **Mamat et Hill, (2014)** ont également souligné que la teneur en matières grasses ajoutées à la pâte a un effet important sur la qualité finale des biscuits. Selon **Warinporn et Geoffrey (2018)**, la fonction secondaire des graisses dans les biscuits est de créer la saveur du produit fini. Au terme de cette optimisation, les quantités de farine de riz, de farine de blé, de poudre de safou et de margarine permettant d'avoir un biscuit ayant une granulométrie, la croustillance, la dureté, le caractère fondant, l'arome, la forme et la qualité globale satisfaisante ont été déterminées. Ces paramètres ont été appliqués dans la fabrication des biscuits de riz au safou. Les équations de modèles proposées pour les différentes réponses mesurées ont été validées sur la base de leur R^2 , R^2 ajusté, Af, Bf et AADM. Une optimisation multiréponse a permis de définir comme zone optimale celle où la quantité de safou est comprise entre 0 et 200g et pour les quantités de margarine comprises entre 320 et 600 g. En appliquant la fonction désirabilité le point optimale dans cette zone est celui où la

proportion de blé est de 20,24%; celle de la farine de riz est 24,51%; la margarine est de 19,09% et la poudre de safou est de 2,47%. Toute fois les conditions optimales de production des biscuits de riz-blé au safou déterminées, dans le deuxième chapitre la caractérisation nutritionnelle est réalisé en choisissant une formulation de notre zone optimale puisse que les biscuits sont destinés à la consommation.

IV.2. Analyse physicochimique de la poudre safous acide et non acide

Tout d'abord les caractéristiques des différents safous sont présentées. La couleur d'un aliment est un attribut de qualité très important qui est évaluée avant même la dégustation d'un aliment (**Markovic et al., 2013**). Les paramètres de la couleur (L^* , a^* , b^*) du safou acide sont plus élevés que ceux du safou non acide (tableau 17). Ce qui pourrait provenir du brunissement non enzymatique produit lors du séchage de la pulpe. Ces résultats sont semblables à ceux d'**Edoun et al. (2014)** qui ont observé la perte de la couleur de l'ananas lors du séchage. La mesure du pH est importante pour évaluer l'efficacité de la conservation et pour contrôler les performances pendant le traitement (**Dumandan, 2018**). Le pH du safou non acide est supérieur ($4,85 \pm 0,07$) à celui du safou acide ($3,72 \pm 0,03$) (tableau 17). Le pH indique la concentration en ions hydrogènes dans un système alimentaire. Sur la base du pH, les aliments peuvent être regroupés en aliments riches en acides et en aliments peu acides (**Ray, 2005**).

La composition nutritionnelle des poudres de safous acides et non acides sont présentée dans le tableau 18. Les teneurs en eau du safou non acide et du safou acide sont de $4,77 \pm 0,18\%$ et de $3,6 \pm 0,23\%$. Les teneurs en eau des poudres de safou acide et non acide sont inférieures à 10%, ce qui inhiberaient la prolifération des microorganismes et par conséquent augmenterait la durée de vie des poudres. Ces résultats sont inférieurs à celle de la pulpe séché ($5,36 \pm 0,05\%$) (**Noumi et al., 2014**). La différence observée entre les teneurs en lipides du safou acide ($61,56 \pm 0,44\%$) et non acide ($65,72 \pm 0,91\%$) peut être due aux facteurs édaphiques. **Leakey et al. (2005)** ont observé une grande variabilité d'un arbre à un autre dans les safoutiers. En ce qui concerne ses teneurs, elles sont supérieures à celles de **Mbofung et al. (2002)** dans les fruits du safou (49%-59%). Les teneurs en protéines du safou non acide sont de $9,03 \pm 0,04\%$ et celle du safou acide sont $8,23 \pm 0,01\%$. Ces valeurs sont plus élevées que celles de **Ene-Obong et al., (2019)** qui a obtenu les valeurs comprises entre (2,8- 6,9%). La teneur en glucide du safou acide ($23,53 \pm 0,81\%$) est significativement plus élevée ($p < 0,05$) par rapport à celle du safou non acides ($14,07 \pm 1,24$). **Kadji et al., (2016)** ont trouvé

des résultats semblables 14,66-17,82% . Les fibres alimentaires sont des résidus de glucides non digérables et indispensable au bon fonctionnement du transit intestinal. Ce sont des polymères végétaux non hydrolysables par les enzymes endogènes de l'animal en raison de la nature des liaisons chimiques entre les chaînes (**De vries et al., 1999**). Les teneurs en fibres brutes du safou non acide sont plus élevées ($7,6 \pm 0,18\%$) que celles du safou acide ($1,9 \pm 0,19\%$) tandis que la valeur énergétique du safou non acide est semblable à celle du safou acide (683 et 681 Kcal/g). Ces teneurs en fibres sont plus faibles que ceux de **Nwosuagwu et al., (2009)** qui a montré que les safous pourraient contenir les teneurs en fibre de 13,19 – 14,50% alors que les valeurs énergétiques étaient de 500,43 – 505,43 kcal.

Par rapport à la composition en acides aminés essentiels et non essentiels des différents types de safou indiquée dans le tableau 19. La leucine est l'acide aminé essentiel le plus élevé et la méthionine l'acide aminé le plus petit dans les deux types de safou, ces résultats sont similaires à ceux de **d'Onuegbu et al. (2008)** mais seulement le type de safou n'a pas été précisé dans cette étude. Les teneurs en acides aminés essentiels (phénylalanine, isoleucine, histidine, tyrosine, lysine) et les teneurs en acides aminés non essentiels (aspartate, glycine, alanine, gamma-amino butyrate (GABA), proline et arginine) sont également plus élevées dans les safou non acides par rapport au safou acide cela peut être justifié par la haute teneur des protéines dans les safous non acides.

Quant à la composition minérale, le P, K, Ca sont les minéraux les plus abondants dans les safous acides et non acides (tableau 20). Ces résultats corroborent avec ceux de **Omogbai et Ojeaburu (2010)** qui ont trouvé que le P, K, Ca étaient les minéraux les plus abondants dans le safou. Les teneurs en vit C du safou non acide ($177,31 \pm 1,68$ mg/100g) sont plus élevées que celles du safou acide ($132,66 \pm 0,80$ mg/100g) (tableau 21). Ces valeurs sont supérieures à celles de **Nwosuagwu et al., (2009)**, **Duru et al., (2012)** qui ont trouvé les valeurs de 33,16 – 22,53 mg/100 g et $0,07 \pm 0,81 - 0,02 \pm 0,00$ mg/100g. La vitamine C est anti-scorbut; il aide à la construction des tissus et des os et résiste aux infections (**Kadji et al., 2016**).

IV.3. Détermination de la qualité des huiles des poudres de safou acide, non acide et des biscuits

L'indice d'acide est mesuré pour quantifier l'acide gras libre présent dans l'huile. Leur présence constitue un facteur d'altération de l'huile (**Adrian et al., 1998**). L'indice d'acide des huiles du safou acides et du safou non acide sont présentés dans le tableau 22. Ces

résultats sont inférieurs à ceux d'**Adedokun et Onuegbu, (2011)**; (**Noumi et al., 2014**) ont trouvé les indices de 0,46 mg KOH / g d'huile, 4,52 mg KOH / g d'huile avec l'extraction à l'hexane de la matière grasse du safou.

L'indice d'iode d'un lipide est le poids d'iode exprimé en milligramme, qui se fixe sur les doubles liaisons des acides gras de 100 g d'échantillon (**AFNOR, 1981**). Les valeurs de l'indice d'iode varient de $52,51 \pm 0,54$ g pour le safou acide à $55,85 \pm 0,07$ g d'iode / 100 g d'huile pour le safou non acide sont présentés dans le tableau 22. Ces résultats sont semblables à ceux de (**Noumi et al., 2011**) qui ont obtenu des valeurs 52,54 g d'iode / 100 g d'huile de la pulpe de safou sèche. L'indice d'iode obtenu est inférieur à ceux des huiles des Cucurbitacées (66,62 - 125 g d'iode / 100 g de lipide)(**Fokou et al., 2009**) et reste également inférieur à la gamme admissible par le **Codex Alimentarius (2001)** pour une huile d'olive vierge de bonne qualité à savoir : 75 – 94. L'huile de safou acide et non acide a très peu d'insaturations dans la chaîne carbonée par rapport à d'autres huiles.

La détermination de l'indice de saponification consiste à transformer les savons solubles (savon sodique ou potassique), donc l'ensemble des acides gras présents à l'état estérifié dans une matière grasse et régénérant le glycérol (**Adrian et al., 2004**). L'indice de saponification varie de $184,00 \pm 1,41$ à $172,50 \pm 0,7$ mg de KOH / g d'huile pour les huiles obtenues de safou acide et non acide, respectivement. L'extrait d'huile de safou acide et non acide peut-être utilisé dans la saponification. Ces valeurs sont similaires à celles obtenues par **Adedokun et Onuegbu (2011)** sur l'huile extraite de la pulpe du safou 189,77mg de KOH/g (2003). Ces valeurs d'indice de saponification des huiles de pulpe de safou sont comparables à celles de l'huile actuellement utilisée en alimentation: soja (188 - 195); huile de coton (188 - 190); olivine (184 -196); huile d'arachide (187-196) (**Karlesking et Wolff, 1992**). Le degré d'impureté est de $0,96 \pm 0,07$ % pour le safou acide et de $0,83 \pm 0,00$ % pour le safou non acide. Ces valeurs sont inférieure à 1, ce qui suggère une faible quantité d'acides gras libres dans l'huile. On en déduit que les conditions de séchage de la pulpe n'ont pas accéléré la mise en place des réactions telles que l'hydrolyse et l'hydratation des esters et des molécules insaturées dans l'huile de safou.

IV. 4. Analyse physique, sensorielle et la valeur nutritionnelle des biscuits

Pour ce qui concerne la répartition granulométrique (tableau 23), une distribution des particules qui varie d'une taille moyenne comprise entre 250 μ m et 1400 μ m pour les

biscuits fins, moyens et larges. **Nishita et Bean, (1982)** stipule que la distribution des particules dépend du type de machine utilisée pour le broyage.

Par ailleurs, la dureté est réduite ($5,7\pm 2,3N$) pour les biscuits aux particules larges (les sablés) et grande pour les biscuits aux particules fines (non sablé) ($16,1\pm 4,4N$) (tableau 24). La cohésion est plus faible ($1,17\pm 0,70$) pour les biscuits ayant des particules larges et elle est plus grande pour les biscuits ayant les particules fines ($7,18\pm 0,6$). Ces observations démontrent que plus les granules sont fines, plus grande est la cohésion des particules. **Lai (2001)** stipule que la cohésion peut aussi être influencée par la taille des granules, les caractéristiques des molécules d'amidon et du processus thermique impliqué dans la gélatinisation de l'amidon.

La couleur est également un facteur déterminant dans la définition de la qualité de n'importe quel aliment, et c'est une caractéristique que le consommateur remarque immédiatement et qui influence généralement l'impression sensorielle subjective (**Lara et al., 2011**). Les paramètres de couleur sont présentés dans la Figure 15 (valeurs L^* , a^* , b^* , C) en fonction des différents biscuits: Riz-blé(50%) (BRB-50), des biscuits riz-blé safou acide(50%) (BRBSA-50) et des biscuits riz-blé safou non acide(50%)(BRBSNA-50). La substitution de 30% de margarine par la poudre de safou a entraîné une baisse de la clarté (L^*) et du jaunissement (b^*) des biscuits enrichis au safou. La diminution de la clarté est due à la présence de la poudre de safou, qui est naturellement de couleur plus sombre. Avec la substitution, la couleur du biscuit est passée du brun clair au brun foncé. La couleur plus foncée peut être due à la réaction non enzymatique (réaction de Maillard) entre les molécules de sucre réducteur et la protéine (**Tsuji et al., 2001 ; Sudha et al., 2007**). Le brunissement des produits de boulangerie comme le pain, le biscuit peut être dû à la caramélisation, à la dextrinisation de l'amidon ou à la réaction de Maillard (**Sudha et al., 2007**). Ces résultats corroborent avec ceux de **Mishra et Chandra, (2012)** qui ont trouvé une couleur plus foncée avec des biscuits enrichis à la farine de soja et au son de riz. En outre, l'intensité de la couleur diminue en fonction du traitement. Les biscuits de riz et de blé fortifiés au safou présentent une intensité de couleur plus faible et cela est lié au type d'ingrédients utilisés (**Bassinello et al., 2011**).

L'analyse sensorielle a été adoptée dans cette étude comme étant le principal critère de qualité des biscuits. C'est l'attribut le plus important pour le consommateur. Le radar (figure 16) illustre la comparaison des biscuits de riz en fonction des différentes fractions granulométriques. Le score de la qualité globale des biscuits non sablés est supérieur à celui des biscuits légèrement sablés et enfin des biscuits sablés. Cela implique que l'acceptabilité

du BR-100 augmente lorsque la taille des particules de farine diminue. La taille des particules de farine est un facteur important affectant la qualité des protéines, la teneur en amidon endommagé et la qualité des produits de boulangerie (**Barak et al., 2014**). De même, lorsqu'on ajoute du safou dans les biscuits de riz 100% (Figure 17). Les biscuits ayant les particules fines(3,73) ont une qualité globale plus élevée que ceux des biscuits ayant les particules moyennes (3,63) et enfin les biscuits ayant de larges particules (3,14) avec du safou. On peut noter que la présence du safou n'a eu aucune influence positive sur la taille des particules. S'agissant de l'évaluation sensorielle des biscuits fortifiés et non fortifiés au safou produits à l'aide de la farine de riz avec la fraction granulométrique fine (non sablé) (figure 18), la saveur sucrée a été ressentie (3,2 points) alors que la saveur acide n'a pas été ressentie et on obtient un score de zéro dans les biscuits non fortifiés et fortifiés. En ce qui concerne la friabilité, les biscuits fortifiés au safou sont plus friable (2,31 points) par rapport aux biscuits de riz simples (1,88). Par conséquent, l'incorporation de poudre de safou dans la formulation de biscuit a réduit les forces de liaison entre les différents éléments constitutifs, rendant les biscuits fragiles. La substitution de la margarine par 30% de poudre de safou a affecté la croustillance des biscuits, qui est une caractéristique importante. Les résultats ont montré que la supplémentation en safou augmente la croustillance. La croustillance est perçue comme le fait de mâcher un aliment entre les molaires et cela s'exprime généralement en termes de dureté et de fracturabilité (**Mihiranie et al., 2017**). En ce qui concerne l'acceptabilité globale, elle combine tous les attributs perçus par le jugement individuel du panéliste. L'acceptabilité globale des biscuits fortifiés au safou ont obtenu un score plus élevé (4,16) que les biscuits au riz simples (3,74), une indication que l'incorporation de safou dans la formulation des biscuits améliore sa qualité ($p < 0,05$). Les biscuits enrichis au safou (acide et non acide) ont une très bonne perception tandis que les biscuits non fortifiés ont une bonne perception. Cela est probablement dû à la présence de la poudre de safou qui renforce la saveur et l'arôme. Les résultats des études antérieures sur l'enrichissement des aliments soutiennent que les consommateurs adoptent favorablement l'incorporation des suppléments nouveaux et innovants riches en nutriments dans les biscuits. Ces suppléments comprennent notamment des larves du palmier riches en protéines (*Rhynchophorus phoenicis* Fabricius), la patate douce à chair orange (**Ayensu et al., 2019**), la noix de bambara et l'igname (**Uchenna et Omolayo, 2017**). Lorsqu'on effectue une comparaison entre les biscuits de riz-blé au safou acide et les sablés au coco (figure 19). On constate que la saveur sucrée est plus élevée dans les sablés coco que dans les biscuits de riz-blé au safou acide. Ceci peut se justifier par l'apport du sucre qui est plus élevé dans le biscuit sablé au coco. Etant donné qu'un aspect

très important des biscuits est leur teneur en sucre, le sucre granulé peut avoir des effets souhaitables sur la saveur, les dimensions, la couleur, la dureté et l'état de surface des biscuits. Cependant, aujourd'hui, un niveau élevé de sucre n'est pas souhaitable (**Vitali et al., 2009**). La consommation d'une grande quantité de sucre granulé augmente l'apport énergétique, ce qui peut entraîner des effets néfastes sur l'organisme, notamment l'obésité et les maladies chroniques (**Vatankhah et al., 2015**). A l'opposé, les biscuits de riz-blé au safou (BRBSA) sont plus granuleux(3,30), croustillant(4,25) et aromatisé(4,6) que les sablés au coco. Le caractère granuleux des biscuits de riz-blé au safou pourrait ce justifié par la présence de la farine de riz qui est une farine granuleuse. Ce qui corrobore avec les travaux d'**Araki et al. (2016)**. Corrélativement, l'acceptabilité globale des biscuits de riz blé fortifiés au safou était plus élevé (4,56) que celui des biscuits sablés au coco (3,23). Selon les panelistes les biscuits riz blé au safou sont plus appréciés que les biscuits sablés au coco.

La composition proximale des biscuits de riz-blé 50% et enrichis au safou est illustré dans le tableau 25. La teneur en eau des biscuits de riz-blé simples a été plus élevée que celle des biscuits de riz blé enrichis au safou. Cela démontre que la teneur en eau diminue avec l'ajout de safou dans la formulation des biscuits de riz-blé. La faible teneur en eau représente un facteur inhibiteur du développement des microorganismes. Elle augmente la qualité et la stabilité des biscuits enrichis à la poudre de safou, ces résultats sont semblables à ceux d'**Onwuka, (2005)** sur d'autres aliments. Concernant, la substitution partielle de la margarine par de la poudre de safou, elle n'a pas modifiée de manière significative la teneur en lipides de ces biscuits. En ce qui concerne les teneurs en protéines, les biscuits riz-blé enrichis au safou non acide ont enregistré une augmentation de 52% des protéines. **Mbofung et al. (2002)** ont trouvé une augmentation de 39% des protéines après avoir partiellement substitué la margarine par la pulpe safou dans la production des biscuits. Dans cette étude, les auteurs n'ont pas indiqué le type de safou (acide ou non acide) utilisé. La teneur en fibres brutes des biscuits simples était légèrement supérieure à celle des biscuits safou fortifiés, mais sans différence significative par rapport à celle des biscuits enrichis au safou non acide. Ces observations sont similaires à celles de **Noor Aziah et al. (2012)** qui ont rapporté une diminution de la teneur en fibres des biscuits enrichis des légumineuses (haricots mungo et pois chiches). De manière générale, les teneurs en fibres des biscuits de riz sont supérieures celles de **Okpala et Egwu (2015)** qui a également produit des biscuits avec les brisures de riz et la farine d'igname 1,15-1,23%. Cette teneur élevée en fibre serait due à la richesse de ce riz en amidon résistant **Odenigbo et al. (2013)**. Les fibres constituent la partie de l'aliment qui n'est pas digérée dans le tube digestif de l'Homme. Elles permettent de réduire le temps de

transit intestinal des déchets dans le tube digestif. Elles réduisent le taux de cholestérol et participent au bien être de l'Homme (**Bello et al., 2008**). La valeur énergétique du safou non acide est similaire à celle du safou acide (683 et 681 Kcal / g), nos résultats sont supérieures à ceux de **Nwosuagwu et al. (2009)**; **Duru et al. (2012)**. Parallèlement, la valeur énergétique du biscuit optimisé (506±0,70 kcal/g), du biscuit de riz-blé au safou acide (504,96 kcal/g) et du biscuit riz-blé au safou-non acide (497,13 kcal/g) sont similaire à celle du biscuit riz-blé simple (507,6 kcal / g). Ces résultats sont également élevés par rapport à ceux de **Gamal et al. (2012)** qui a enrichis les biscuits avec la poudre de datte 310±0,18 kcal/g. L'ajout de safou aux combinaisons de biscuit riz-blé n'a augmenté que les niveaux d'aspartate et de glycine. Ces résultats suggèrent que les différences de goût des accessions de safou étaient dues aux différences observées dans sa composition chimique, en particulier les teneurs en eau, en lipides et en acides aminés.

Les acides aminés essentiels et non essentiels sont les éléments constitutifs des molécules contenant de l'azote dans les organismes vivants. Ces acides aminés sont essentiels pour la réparation cellulaire, la synthèse tissulaire, la régénération cellulaire et l'apport calorique en période de famine (**Razak et al., 2017**).

Les minéraux sont essentiels et vitaux pour le bien-être physique et mental, ils entrent dans la constitution des os, des dents, des tissus musculaires, sanguins et nerveux (**Soetan et al., 2010**). Ils participent à la maintenance de l'équilibre acido-basique, à la réponse des nerfs aux stimulations physiologiques et à la coagulation du sang (**Hanif et al., 2006**). Les minéraux analysés dans les échantillons de safou acides et non acides (P, K, Ca, Na Mn, Zn, Fe, Cu, Mg et Al) ont également été identifiés dans les échantillons de biscuits (Tableau 27). Le P, K et Na sont également des minéraux prépondérants dans les échantillons de biscuits optimisé, le biscuit de riz-blé au safou acide et non acide par rapport au biscuit de riz-blé (50%). Avec des valeurs de 123 mg, 136 mg et de 132 mg de phosphore pour le biscuit de riz-blé au safou acide et non acide, elles sont supérieures à ceux de **Oyeyinka et al.(2014)** qui ont obtenus les valeurs de 23 mg avec la substitution de la farine de plantain dans la production des biscuits . Elles sont également inférieures à la dose requise pour l'apport journalier (AJR) qui est de 700-1250 mg pour les personnes adultes (**Institute of Medicine, Food and Nutrition Board, 1997**). Le phosphore, lui serait un élément majeur du système osseux et participerait aux réactions de phosphorylation impliquées dans la production d'énergie (**Ano et al., 2018**). Le potassium est un minéral et un électrolyte dont le corps a besoin pour fonctionner correctement. Le potassium est un minéral très important pour le corps humain car il est nécessaire pour construire des protéines, décomposer et utiliser

les glucides, construire des muscles, maintenir une croissance corporelle normale, contrôler l'activité électrique du cœur et contrôler l'équilibre acido-basique. Néanmoins, les teneurs en potassium des biscuits optimisés, des biscuits de riz-blé au safou acide (BRBSA) et des biscuits de riz-blé au safou non acide (BRBSNA) sont de 192 mg, 186 mg et 176 mg respectivement. Ces teneurs sont inférieures à ceux **Gamal et al., (2012)** qui a effectué des biscuits avec le son de blé et la farine de datte (*Phoenix dactylifera L.*) 0,48 g. Nos résultats sont inférieurs à l'apport journalier requis (AJR) est de 2,6 à 3,4 g / jour pour les adultes (**USDA, 2020**). Les teneurs en calcium obtenues grâce à l'ajout du safou acide et non acide sont de 35 mg (optimisé), 29 mg (BRBSA) et de 35 mg (BRBSNA). Bien qu'il y ait une augmentation, nos valeurs sont inférieures à la dose journalière requise qui est de 1000 mg pour les femmes et de 1200 mg pour les hommes **Food and Nutrition Board, Institute of Medicine (2010)**. Le calcium intervient dans la construction des os, la contraction musculaire et la coagulation du sang (**Soetan et al., 2010 ; Ujowundu et al., 2010**). La teneur en aluminium dans les biscuits (215 ppm) est plus élevée que dans le safou (10,0 ppm). La teneur en aluminium enregistrée dans les biscuits produits dans cette étude était similaire ou inférieure à celle enregistrée pour les autres biscuits (**Grail Diet, 2020**). L'aluminium dans l'alimentation provient de sources naturelles, notamment l'eau, les additifs alimentaires et la contamination par des ustensiles et des récipients en aluminium. L'apport quotidien d'aluminium varie considérablement de 0 à 0,095 g, et la vraie question n'est pas la quantité d'aluminium dans les aliments mais la disponibilité de l'aluminium dans les aliments et la sensibilité dans certains groupes de population (**Greger, 2007**). Il en est de même pour les concentrations en fer et zinc qui sont plus élevées dans les biscuits de riz-blé au safou par rapport aux échantillons de riz-blé (50%). De plus les quantités de fer sont de 33,6 ppm pour le biscuit optimisé, 35,9 ppm pour les biscuits au safou acide et de 36,79 ppm pour le biscuit au safou non acide. Mais, ces valeurs sont inférieures à la RDI pour les femmes 0,0148 g/jour et de 0,0084 g-0,018 g/jour pour les hommes selon **USDA, (2020)**. Le fer est un minéral présent dans chaque cellule du corps. Le fer est considéré comme un minéral essentiel car le corps humain a besoin de fer pour fabriquer les protéines transportant l'oxygène, l'hémoglobine et la myoglobine. L'hémoglobine se trouve dans les globules rouges et la myoglobine se trouve dans les muscles. Le zinc se trouve dans les cellules du corps. Il est nécessaire au bon fonctionnement du système défensif (immunitaire) du corps. Il joue un rôle dans la division cellulaire, la croissance cellulaire, la cicatrisation des plaies. Le zinc est également nécessaire pour les organes de sens de l'odorat et du goût. Pendant la grossesse, la petite enfance et l'enfance, le corps a besoin de zinc pour grandir et se développer

correctement (**Jarosz et al, 2017**). Le zinc améliore également l'action de l'insuline et est un puissant inhibiteur de la réplication des coronavirus et des arterivirus (**Te Velthuis et al., 2010**). Les quantités de zinc sont de 34,81 ppm pour le biscuit optimisé, de 33,8, ppm pour les biscuits au safou acide et de 34,22 ppm pour le biscuit au safou non acide. Apports Nutritionnels Recommandés est en général de 0,008g / jour pour les femmes et de 0,011g / jour pour les hommes (**USDA, 2020**). Dans les céréales telles que le riz et le blé, la biodisponibilité du zinc est diminuée par l'acide phytique. Ainsi, les biscuits produits peuvent être une bonne source de potassium, de phosphore, de fer et de Zn pour les personnes adultes. Ces résultats indiquent que les biscuits de riz aux safous acides et non acides sont plus appréciés que les biscuits de riz simple et ceux ayant particulièrement une granulométrie fine, puis que ces biscuits sont riches en protéines, en fibres, en minéraux. Leurs consommations seraient un atout pour le bon fonctionnement des organismes des personnes âgées. Le RB-100 produit avec la farine ayant des particules fines (non sablé) est plus dur et plus cohérent que ceux produits avec des particules plus grosses (sablé). Les biscuits non sablés (particule fine) ont enregistré un score d'acceptabilité globale plus élevé que les biscuits sablés (particule large). Les teneurs en acides aminés essentiels - phénylalanine, isoleucine, histidine, tyrosine, lysine et les teneurs en acides aminés non essentiels - aspartate, glycine, alanine, gamma-amino butyrate (GABA), proline et arginine - étaient également plus élevées dans les safous non acides par rapport au safou acide. Les biscuits enrichis au safou ont montré une augmentation des teneurs en protéines, en phosphore, en potassium, en calcium, en magnésium, en cuivre, en fer, en manganèse et en aluminium par rapport aux biscuits n'ayant pas le safou. Les biscuits de riz blé au safou ont présenté une meilleure qualité nutritionnelle. Pour préserver cette valeur nutritionnelle, il est important de mener une étude de la stabilité de ses biscuits pendant le stockage.

IV. 5. Stabilité des biscuits dans les emballages polypropylène et aluminium

Une étude de la stabilité des biscuits de riz-blé aux safous acides et non acides pendant le temps de stockage a été réalisée avec deux types d'emballages le polypropylène et l'aluminium. L'effet des différentes formulations et de l'emballage sur la dureté des biscuits pendant le temps de stockage est présenté dans le tableau 28. Dans ce tableau, on observe que la dureté des biscuits au blé est élevée par rapport au biscuit de riz simple. Ceci pourrait se justifier par le fait que la farine de blé a une granulométrie plus fine que celle du riz. **Zucco**

et al.(2011) ont illustré que l'incorporation d'une farine fine dans la production des biscuits augmente considérablement la dureté et réduit la propagation de la pâte. Ce pendant, on observe que la dureté des biscuits de riz-blé au safou acide et non acide était satisfaisante durant les 5 mois de stockage à température ambiante et indépendamment du matériel d'emballage. Le manque de changement de la dureté des aliments sont directement liés à l'absence de modifications structurelles lors de son stockage. L'eau, en raison de son effet plastifiant, est l'un des principaux éléments responsables de ces modifications. Il en résulte une mobilité élevée pour l'amidon. Lors de la formation d'un gel, les molécules d'amylose peuvent s'approcher, se joindre pour former des zones cristallines, c'est ce qu'on appelle la rétrogradation. Ainsi, il peut être réduit en volume et en synérèse (l'expulsion des molécules d'eau). Ce phénomène dépend du temps et est influencé par la teneur en humidité et la température de stockage. La dureté des biscuits est principalement associé à la teneur en humidité et en graisse (**Zoulias et al., 2002**).

Les valeurs chromatiques moyennes des paramètres des biscuits sont indiquées dans le tableau 29. Les paramètres chromatiques L * (clarté), a * (vert-rougeur) et b * (bleu-jaune) ont été largement utilisés pour décrire les changements de couleur pendant le traitement thermique des produits agricoles; ils sont liés aux types et aux quantités de certains composants présent dans ces produits (**Bahloul et al., 2009**). Le type de biscuit affecte la clarté du BRBSNA-50%, du BRBSA-50% et du BB100%. On constate que les biscuits BRBSNA-50% et BRBSA-50% ont une couleur plus sombre par rapport aux biscuits de BR100%, BRB%, BB100%. Cela pourrait s'expliquer par le type d'ingrédients, et ou à la qualité de l'emballage opaque (Aluminium) qui ne laisse pas passer la lumière. Les valeurs de la couleur ne changent pas significativement au cours du temps. Ses observations sont les mêmes avec celle de l'étude de **Ada Rocha et Morais. (2003)**.

L'évolution de l'humidité des échantillons de biscuits stockés à température ambiante en fonction du temps de stockage est illustré dans le tableau 30. Dans les biscuits (BRB-50, BRBSA-50, BRBSNA-50) les taux d'humidité obtenu ont été successivement de $2,900 \pm 0,000\%$, $3,100 \pm 0,000\%$, $3,100 \pm 0,000\%$ pour l'emballage de type polypropylène (BRB-50 PP, BRBSA-50 PP, BRBSNA-50 PP) et de $2,800 \pm 0,000\%$, $2,000 \pm 0,005\%$, $2,800 \pm 0,030\%$ pour emballage aluminium (BRB-50 Al, BRBSA-50 PP, BRBSNA-50 PP). En effet ces faibles variations du taux d'humidité observé en début et fin de conservation dépendent du taux de transmission de la vapeur d'eau de l'emballage et des conditions de stockage. L'emballage des biscuits doit fournir une barrière à l'humidité, à la vapeur d'eau et à la lumière contre tout type de contamination. Lorsqu'un aliment est soumis à l'air ambiante, à une

température constante et à une humidité relative élevée, il absorbe de l'eau, et il y a une augmentation de l'humidité (**Syamaladevi et al., 2016**). Le BB-100% a enregistré une teneur en humidité plus élevée, tandis que le BRB-50 et le BRBSA-50% ont enregistré une teneur en humidité plus faible que le RB-100% et le BRBSNA-50 ($p < 0,05$). Ces résultats montrent que les biscuits simples et ceux ayant une substitution de la poudre de safou acide et non acide dans le biscuit ont des teneurs en humidité inférieures à la norme à l'état initial bref à 5% qui est la limite maximale suggérée par **Zydembos et Humphrey-Taylor (2003)** pour assurer une longue conservation. Les biscuits stockés dans des emballages en aluminium ont enregistré une teneur en humidité inférieure à ceux stockés dans des sacs en polypropylène ($p < 0,05$). En outre une comparaison des deux types d'emballages étudiés, notamment aluminium et le polypropylène laisse penser que l'emballage aluminium a une capacité supérieure quant à son imperméabilité à l'eau (rôle de barrière satisfaisante et opaque). L'augmentation de la teneur en humidité avec la durée de stockage peut être due à la nature hydroscopique des farines de riz et de blé, à la température, à l'humidité relative et à la nature du matériau d'emballage (**Nagi et al, 2012; Tang et al., 2019**). La différence de teneur en humidité avec le matériel d'emballage correspond à l'étude de **Rao et al. (1995)** qui ont montré que les biscuits emballés dans du polyester métallisé ou du polypropylène biaxialement avaient une teneur en humidité plus élevée que ceux emballés dans des sacs en polyéthylène laminés avec du papier d'aluminium. Bien que ces taux d'humidité présagent une bonne conservation il n'en est pas moins que ces biscuits soient capables de développer une rancidité oxydative **Prasanth et al. (2014)**.

Pour ce qui est du taux de l'indice de peroxyde des biscuits pendant le temps de stockage (tableau 31). La durée du stockage, le type de biscuit ont un effet significatif sur l'indice de peroxyde. Plus on stocke le biscuit, on observe une augmentation des taux de l'indice de peroxyde. Les biscuits de riz-blé au safou (BRBSNA-50, BRBSA-50) contiennent des teneurs en indice de peroxyde plus faibles que les autres biscuits simples ceci pourrait se justifier par la présence des antioxydants dans les biscuits au safou qui inhibe l'oxydation dès le premier mois de conservation. Par contre après cinq mois de conservation, les biscuits au safou ont enregistré des valeurs d'indice de peroxyde légèrement plus élevée que les biscuits sans safou. Ces résultats sont plus basse que ceux rapporté par **Songré-Ouattara et al. (2017)** dont les valeurs d'indice de peroxyde variant entre 3 et 17 meqO₂/kg d'huile. En outre, **Codex Alimentarius (1999)** ont rapporté que la valeur d'indice de peroxyde dans les huiles devrait avoir une limite acceptable de 10-20 meq O₂/kg d'huile durant la période de stockage.

Le taux du malondialdéhyde (MDA) renseigne également sur altération de la matière grasse et sont très peu variable au cours du temps et durant la conservation. L'augmentation du taux de MDA avec la durée de stockage (Tableau 32) observée dans cette étude confirme une observation antérieure de **Fotouo-M *et al.* (2018)** qui ont montré un taux de MDA plus élevé dans les graines oléagineuses de *Moringa oleifera* emballées dans des sacs en papier que dans celles emballées dans des sacs en aluminium lorsque les deux ont été stockés pendant 24 mois à 20° C. Le niveau de MDA est élevé pour les biscuits stocké au polypropylène. La dureté, la couleur des biscuits de riz-blé au safou acide et non acide n'ont pas considérablement changé durant les cinq mois. Le taux d'humidité est inférieur à 5%. Le taux de peroxyde et de MDA présente un faible taux d'oxydation des biscuits au safous par rapport aux autres biscuits. L'étude de la stabilité durant les cinq mois n'a pas considérablement modifiée les paramètres physiques et physicochimiques des biscuits de riz-blé aux safous. Ce pendant l'ajout de la poudre de safou présente de meilleurs résultats par rapport à d'autres biscuits. Au terme de notre troisième objectif, les biscuits de riz-blé au safou peuvent être stockés dans les emballages polypropylène et en aluminium, mais le meilleur emballage est celui de l'aluminium car stabilise mieux les biscuits.

CONCLUSION

CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif général d'évaluer les propriétés organoleptiques, physiques, nutritionnelles, et la durée de conservation des biscuits de riz enrichis au safou. Cette étude a permis de tirer les conclusions suivantes:

- Les équations de modèles proposées pour les différentes réponses mesurées ont été validées sur la base de leur R^2 , R^2 ajusté, Af, Bf et AADM. L'optimisation multiréponse a permis de définir comme zone optimale celle où la quantité de safou est comprise entre 0 et 200 g et pour les quantités de margarine comprises entre 320 et 600 g. La formulation permettant d'avoir un biscuit de bonne qualité sensorielle c'est celui où la quantité de blé est de 20,24%; celle de la farine de riz est 24,51%; la margarine est de 19,09% et la poudre de safou est de 2,47%.
- La poudre de safou non acide est plus riche en lipides, en protéines, en fibres et en acides aminés et la poudre de safou acide est riche en minéraux. L'enrichissement des biscuits riz-blé avec le safou a influencé la qualité physique, sensorielle et nutritionnelle. Le biscuit RB-100 produit avec la farine ayant des particules fines (non sablé) est plus dur et plus cohérent que ceux produits avec des particules plus grosses (sablé). Les biscuits non sablés ont enregistré un score d'acceptabilité global plus élevé que les biscuits sablés. Les biscuits enrichis au safou ont montré une augmentation des teneurs en protéines, en acides aminés essentiels en phosphore, en potassium, en calcium, en magnésium, en cuivre, en fer, en manganèse et en aluminium par rapport aux biscuits n'ayant pas safou.
- La faible variation des valeurs de peroxyde et de MDA dans les biscuits enrichis indique une légère activité oxydante qui a peu changé pendant temps de stockage dans les emballage en aluminium et en polypropylène. La contribution de la poudre de safou et des brisures de riz dans la fabrication des biscuits a permis une augmentation des teneurs en protéines, en fibres, en minéraux, en polyphénols et en antioxydants qui contribueraient à la lutte contre les maladies métaboliques au sein des groupes vulnérables de la population. L'utilisation de brisures de riz et de safou pourrait réduire les pertes post-récoltes après récolte enregistrées dans ces cultures, permettre la consommation des biscuits ayant une bonne valeur nutritionnelle pour les personnes de 3^{ème} ages et augmenter les revenus des personnes impliquées dans ce secteur, en particulier les femmes transformatrices.

PERSPECTIVES

A l'issu de ce travail nous envisageons de réaliser des études qui prendrons en compte:

- Facteur physico-chimiques (pH, temps, propriétés nutritionnelles) dans le procédé d'optimisation
- Effectuer l'analyse des propriétés fonctionnelle de la farine de riz, de la poudre de safou et des biscuits.
- Etude *in vivo* de la consommation de biscuit de riz enrichis au safou chez les rats.

REFERENCES

REFERENCES

- Abhinay, S. H., Guruprasad, N., Durga Shankar B., Goyal, S., K. et Amrita P. (2018).** Process of optimisation of *Dolichos lablab Peel* powder and buckwheat flour incorporated biscuits using Response Surface Methodology. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 3; 100-111
- Abou-Zaid, A. A. M. et Elbandy, M. A. S. (2014).** Production and quality evaluation of nutritious high quality biscuits and potato puree tablets supplemented with crayfish *Procombarus clarkia* protein products. *Journal of Applied Sciences Research*, 10(7), 43–53
- Ackermann, Margaretha, J. et Ohlsson, Th. (1995).** Foods and packaging materials. *The Royal Society of chemistry*.6.12.p231
- Achu, M. B., Fokou E., Tchiégang C., Fotso, M. et Tchouanguép, M. F. (2008).** Atherogenicity of *Cucumeropsis mannii* and *Cucumis sativus* oils from Cameroon. *African Journal of Food Science*, 2: 021-025
- Ada Rocha et Morias, B. M. M. A. (2003).** Shelf life of minimally processed apple(CV jonagored) determined by color changes. *Food control* 14(1): 13-20
- Adeola, A. A. et Ohizua, E, R. (2018).** Physical, chemical, and sensory properties of biscuits prepared from flour blends of unripe cooking banana, pigeon pea, and sweet potato. *Food Science and Nutrition* Pp: 1-9.
- Adedokum, I. I. et Onuegbu N. C. (2011).** The physical properties of pulp and chemical characteristics of edible oil Extracted from the pulp of African pear (*Dacryodes edulis*). *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(6) 558-560.
- Aderinola, A. A., Lawal, O, E., Oluwajuyitan, D. T. (2020).** Assessment of nutritional and microbiological properties of biscuit supplemented with *Moringa Oleifera* seed protein concentration. *Journal of Food Engineering and Technology*, 9(1):22-29
- Adeyemi, S. A. O. et Ogazi, P. O. (1985).** The place of plantain in composite flour. *Commerce Industrie*, Lagos state, Nigeria, Who Rep Seri 1973 No 522Who Geneva
- Adeyeye, S. A. et Akingbala, J. O. (2015).** Physico-chemical and functional properties of cookies produced from sweet potato-maize flour blends. *Food Science and Quality Management*, 43, 48 –57
- Afework, A., Abegaz, K. and Mezgebe, G., A. (2016).** Deveelopment of pro-vitamin A and energy rich biscuits blending of orange-fleshed sweet potao(*Ipomea batatas* L.) with

wheat(*Triticum vulgare*) flour and altering baking temperature and time. *Academic Journal* 10(6) pp.79-86.

AFNOR (Association Française de Normalisation), (1981). Recueil des normes françaises, corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés, 2ème édition, Paris, (France), 438 p

Africa Rice Center (AfricaRice) (2018). Africa Rice Center (AfricaRice) Annual Report 2017: More effective targeting of research for development. Abidjan, Côte d'Ivoire: 40 pp

Aggarwal, D., Sabikhi, L. et Kumar, M. H. S. (2016). Formulation of reduced-calorie biscuits using artificial sweeteners and fat replacer with dairy–multigrain approach. *NFS Journal*, 2,1 –7

Aidos, I., Lourenco, S., Van der Padt, A., Luten, J. B., Boom, R. M. (2002). Stability of crude herring oil produced from fresh byproducts: influence of temperature during storage. *Journal of Food Science*, 67, 3314–3320

Ajayi, L. A et Adesanwo, O. (2009). Comparative study of mineral element and Fatty acid Composition of *Dacryodes edulis* Pulp and seed. *World Journal of Agriculture Sciences*, 5 (3):279-283

Ajay, S et Pradyuman, K. (2018). Optimization of gluten free biscuit from foxtail, copra meal and amaranth. *Food Science and Technology*. Campinas, 39(1): 43-49

Ajibesin, K. K., Ekpo, B. A., Bala, D. N., Essien, E. E. et Adesanya, S. A.(2008). Ethnobotanical survey of Akwa Ibom State of Nigeria. *Journal of Ethnopharmacology*., 115, 387-408

Ajibesin, K. K. (2011). *Dacryodes edulis* (G. Dan H. J. Lam): A review on its medicinal, phytochemical and economic properties. *Research Journal of Medicinal Plants*: 5 (1), 32-41

Aker, J. C., Block, S., Ramachandran, V. et Timmer, C. P., (2011). West African experience with the World rice crisis, 2007-2008. Working Paper 242, Center for Global Development, Washington DC

Akoa-Etoa, J. M., Ndindeng, S. A., Owusu, E. S., Woin, N., Bindzi, B., Demont, M. et Bulte, E. (2016). Consumer valuation of an improved rice parboiling technology: Experimental evidence from Cameroon. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 11, 8–21

- Akujobi, I. C. (2018).** Nutrient composition and sensory evaluation of cookies produced from cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) and tiger nut (*Cyperus esculentus*) flour blends. *International Journal of Innovative Food, Nutrition and Sustainable Agriculture*, 6(3), 33–39
- Alary, R. et Laignelet, B. (1998).** Traitement du riz In GODON B., WILLM C. Les industries de première transformation descéréales. *Lavoisier*. Tec et Doc/Apria. Paris. 679 p
- Andresen, M. S., Dissing, B. S. et Loje, H. (2013).** Quality assessment of butter cookies applying multispectral imaging. *Food Science and Nutrition*,1,315-323
- Annelisse, A. Susan, E. D., Frank, D. C. Willian, E. B. (2011).** Physicochemical properties and sensory attributes of resitant starch-supplemented granola bars and cereal. *Food Science and technology*, 44, 2159-2165
- Ano, A. A. R. R., Koffi, E. N’dri, Adima, A. A., N’da, K. P. et Anin, A. L. (2018).** Composition biochimique et phytochimique des tourteaux des fruits du safoutier (*Dacryodes edulis*) de Côte d’Ivoire. *International Journal of Biological and Chemistry Sciences*. 12(6): 2535-2546
- A.O.A.C. (1980).** Official Methods of Analysis. (13th ed.). William Horwitz, Washington, D.C. *Association of Official Analytical Chemists*
- A.O.A.C. (1990).** Official Methods of Analysis. (15th ed.). Arlington, *Association of Official Analytical Chemists*
- Apeda agri exchange (2020)** exchange.apeda.gov.in.
- Aranceta, J. et Perez-Rodrigo, C. (2012).** Recommended dietary reference intakes, nutritional goals and dietary guidesline for fat and fatty acids: a systematic review. *British Journal of Nutrition*, 107,pp.S8-22
- Ardent, E. K., Renzetti, S. et Fabio, D. B. (2009).** Dough Microstructure and Textural Aspects of Gluten-Free Yeast Bread and Biscuits. In *Gluten-Free Food Science and Technology*, GALLAGHER E. Wiley-Blackwell. UK. Pp 107 – 125
- Arent, E. et Dal Bello, F. (2008).** Gluten-Free Cereal product and beverages. *Food Science and Technology International Series. Elsevier Science and Technology*,p 393-412
- Araki, E., Ashida, K., Aoki, N., Takahashi, M. et Hamada, S. (2016)** Characteristics of rice flour suitable for production of rice flour bread containing gluten and methods of

reducing the cost of producing Rice flour. *Janpan Agricultural Research Quaterly* :50(1),23-31

Ashaye, O. A., Olanipekun, O. T. et Ojo, S. O. (2015). Chemical and Nutritional Evaluation of Biscuit Processed from Cassava and Pigeon Pea Flour. *Journal of Food Processing & Technol*, 6: 521

Atangana, A. R., Asaah, E., Tchoundjeu, Z., Schreckenber, K. et Leakey, R. R. B. (2002). Biophysical characterisation of *Dacryodes edulis* fruits in three markets in Cameroon. in du Safoutier et autres oléagineux non-conventionnels Yaoundé, Cameroun, *Presses Universitaires d'Afrique*, Yaoundé, Pp 106–118

Atawodi, S. E. Atawodi J. C., Idakwo, P., Pfundstein, B., Haubner, R., Wurtele, G., Spiegelhalder, B., Bartsch, H. and Owen, R. W. (2009). Evaluation of the Polyphenol Composition and Antioxidant Activity of African Variety of *Dacryodes edulis* (G.Don) H.J Lam Fruit. *Journal of Medicinal Food*, 12 (6) , 1321–1325

Awono, A., Ndoye, O., Schreckenber, K., Tabuna, H., Isseri, F. et Temple, I. (2002). Production and marketing of safou (*Dacryodes edulis*) in Cameroon and Internationally: market development issues. *Forests, Trees and Livelihoods*, 12, pp. 125-147

Ayensu, J., Lutterodt, H., Annan, R. A., Edusei, A., et Loh, S. P. (2019). Nutritional composition and acceptability of biscuits fortified with palm weevil larvae (*Rhynchophorus phoenicis Fabricius*) and orange-fleshed sweet potato among pregnant women. *Food Science and Nutrition*. 7, 1807–1815

Ayuku, E.T, Duguma, B., Kengue, J., Tiki-managa T. et Zekkeng, P, (2000). Uses, management and economic potential of *Dacryodes edulis* in human low-land Cameroon. *Economic Botany* 53 (3): 292-300

Bahloul. N. N., Boudhrioua, Kouhila, M. et Kechaou. N. (2009). Effect of convective solar drying on colour, total phenols and radical scavenging ctivity of olive leaves (*Olea europaea L.*). *International Journal of Food Science and Technology* 44:2561-2567

Baltsavias, A., Jurgens, A. et Van Vliet, T. (1999). Fracture properties of short-dough biscuits: Effect of composition. *Journal of cereal Science*, 29: 235- 244

Banureka, V. D. et Mahendran, T. (2009). Formulation of wheat soybean biscuits and their quality characteristics. *Tropical Agricultural Research and Extension* 12.2

- Bas, D. et Boyaci, I., H. (2007).** Modeling and optimization : usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering* 78:836–845. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.024>
- Bassinello, P. Z., De Gc Freitas, D., Ascheri, J. L. R., Takeiti, C. Y., Carvalho, R. N., Koakuzu, S. N. et Carvalho, A. V. (2011).** Characterization of cookies formulated with rice and black bean extruded flours. *Procedia Food Science*, 1, 1645-1652
- Barak, S., Mudgil, D. et Khatkar, B. S. (2014).** Effect of flour particle size and damaged starch on the quality of cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 1342–1348
- Bello, M. O., Falade, O. S., Adewusi, S. R. A. et Olawore, N. O. (2008).** Studies on the chemical compositions and nutrients of some lesser known Nigeria fruits. *African Journal of Biotechnology* 7 (21), 3972-3979
- Belitz, H.-D., Grosch, W., Schieberle, P. (2004).** Carbohydrates. in Food Chemistry (3rd revised ed). Berlin, *Springer*: 245-341
- Benkadri, (2010).** Contribution à la diversification des aliments pour enfants coeliaques: fabrication de farines-biscuits sans gluten. Université de Mentori de Constantine. Memoire de Masgiter en Science Alimentaire. 106 p
- Bensalah, W., Feki, M., Wery, M. et Ayedi, H. F. (2010).** Thick and dense anodic oxide layers formed on aluminum in sulphuric acid bath. *Journal of Materials Science and Technology*, 26(2), p. 113-118
- Benesi, I. R. (2005).** Characterisation of Malawian cassava germplasm for diversity, starch extraction and its native and modified properties. Bloemfontein: PhD Thesis, Department of Plant Sciences, University of the Free State, South Africa
- Benoist, D., Tourbier, Y., Germain-Tourbier, S. (1994).** Plans d'expériences: construction et analyse. Edition : Technique et Documentation-Lavoisier. paris:32p
- Bhattacharya, K. R. (2009).** Physicochemical basis of eating quality of rice. *Cereal Foods World*, 54 (1): 18-28.
- Biao, Y., Chen, X., Wang, S., Chen, G., McClements, D. J. et Zhao, L. (2020).** Impact of mushroom (*Pleurotus eryngii*) flour upon quality attributes of wheat dough and functional cookies-baked products. *Food Science and Nutrition*, 8(1), 361– 370

Bunde, M. C., Osundahunsi, F. O., et Akinoso, R. (2010). Supplementation of biscuit using rice bran and soy bean flour. *African Journal of food Agriculture nutrition and development(AJFAND)*. 10(9)

Brouwn, A. (2005). understanding food: Principles and preparation.(2nd edtn) wadsworth. Inc, California

Calligaris, S., Pieve S. D., Kravina, G. L . et Nicoli , C. M. (2008). Shelf life prediction of bread sticks using oxidation indices a validation study. *Journal of Food Sciences* , 73, 2 , E51-E56

Canalis, M. S. B., Leon, A. E. et Ribotta, P. D. (2017). Effect of inulin on dough and biscuit quality produced from different flours. *International Journal of Food Studies*, 6(1), 13–23

Chaiya, B. et Pongsawatmanit, R. (2011). Quality of batter and sponge cake prepared from wheat – tapioca flour blends. *Kasetsart Journal*, 4 : 305-313

Cerning, J. and Guilbot, A. (1973). A specific method for the determination of pentasans in cereals and cereal products.*Cereal.Chemistry*, 50;176-184

CIE(Commission International d’Eclairage). (1976). Recueil des méthodes internationales d’analyses-OIV Caractéristiques chromatographiques. Méthodes OIV-MA-AS2-11

Chakrabarti, T., Poonia, A., Chauhan, A. K. (2017). Process optimization of gluten free cookies using cassava flour. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2(5):190-195.

Chandana, P. G. P. et Navaratne, B. S. (2015). Development of soft dough biscuits with high unsaturated fatty acids. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, 1(1), 2912-1309

Chevallier, S., Della valle, G., Colonna, P., Broyart, B. et Trystram , G. (2002). Structural and Chemical Modifications of Short Dough During Baking. *Journal of Cereal Science*. 35 : 1-10

Choe, E. et Min David, B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation: comprehensive reviews. *Food Science and Food Safety*, (5), 169 -185

Chowdhury, K. Khan, S. Karim, R. Obaid, M. et Hasan. G. M. M. A. (2012). Quality and shelf-life evaluation of packaged biscuits marketed in Bangladesh. *Bangladesh Journal Of Scientific And Industrial Research* 47(1), 29-42

Chuyen, N. V., Ijichi, K., Umestu, J. H., Moteki, K. (1998). Antioxidative properties of products from amino acids or peptides in the reaction with glucose. *in Process-induced chemical changes in food*. F. Shahidi (Ed.). New York, Plenum Press. **17**: 201-212

Clerici, M. T. P. S. et El-Dash, A. A. (2008). Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. *Ciência Agrotecnologia*, 32(5), 1543-1550

Codex Alimentarius. (1999). Codex alimentarius standards for fats and oils from vegetable Sources. Section 2. Codex Alimentarius Standards for Named Vegetable oils. Codex Alimentarius-Stan 210

Codex Alimentarius. (2001). Fats, oils and related products (CODEX STAN 33 – 1981). 2nd Ed. Rome : FAO et OMS, 8, 81p

Codex Alimentarius. (2007). CODEX STANDARD for rice(CODEX STAN 198-1995).p5

Colas, A. et Tharrault J. F. (1997). Granulométrie des particules. *In*, godon b. et loisel w. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. *Lavoisier. Tec et Doc/Apiia*. Paris : 42-49. 819 p

CountrySTAT Cameroon, (2014). Available at:
<http://www.countrystat.org/home.aspx?c=CMR&tr=7>

Cruz, J-F. (2005). Usinage du riz au Burkina Faso. Diagnostic technique des rizeries
Chambre. (*Cirad*), p 1-23

Cuvelier, M. E. et Maillard, M. N. (2012). Stabilité des huiles alimentaires au cour de leurs stockages, 19(2) : 125 -132

Danbaba, N., Nkama, I. et Badau, M. H. (2015). Application of response surface methodology(RSM) and central composite design(CCD) to optimize minerals composition of rice-cowpea composite blends during extrusion cooking. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 5,pp 40-52

Dendy, D. A. V. (1993). Drought and urbanization in Africa: the future role of sorghum and millets. In: *Cereal Science and Technology: Impact on a changing Africa* (edited by JRN Taylor, PG Randall and JH Viljoen). pp 299–317. Pretoria, South Africa

- Demont, M., Rutsaert, P., Ndour, M., Verbeke, W., Seck, P. A. et Tollens, E. (2013).** Experimental Auctions, Collective Induction and Choice Shift: Willingness-to-Pay for Rice Quality in Senegal. In: *European Review of Agricultural Economics*, 40 (2): 261-286
- De Vries, J.W., Prosky, L., Li, B., Chao, S. (1999).** A historical perspective on defining dietary Fiber. *American Association of cereal Chemistry*, 44(5), 365-368
- Dors, G. C., Castiglioni, G. L., Ruiz, W. A. (2006).** Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. *Vetor, Brazil*, 16, 63-67
- Draper, H., H et Hadley, M. (1990).** Malondialdehyde determination as index of lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*, 186, 412-431
- Duru, M., Amadi, C., Ugbogu, A., Eze, A. et Amadi, B. (2012).** Phytochemical, vitamin and proximate composition of *Dacryodes edulis* fruit at different stages of maturation. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 2 (4):437-441
- Dumandan, M. S. (2018).** Formulation optimization of onion-flavored Hopia. *Journal of Food Processing and Technology*. ISSN: 2157-7110
- Dzondo-Gadet, M., Nzikou, J. M., Etoumoungou, A., Linder, M., et Desobry, S. (2005).** Encapsulation and storage of safou pulp oil in 6DE maltodextrins. *Process Biochemistry*, 40, 265–271
- Edoun, M., Kuitche, A., Giroux, F. (2014).** Effect of thermal process and drying principle on color loss of pineapple slices. *American Journal of Food Science and Technology* , 2(1) 17-20
- Eke-Ejiofor, J. et Nwiganale, L. (2016).** The effect of variety and processing methods on the functional and chemical properties of rice flour. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*. 5 (1) pp. 80-84
- Ene-Obong, H., Igile, G., Ekpo, A., Egbung, E. et Agbo, M. (2019).** Variations in the nutrients and bioactive compounds of different accessions of the West African pear (*Dacryodes edulis*): Implications for dietary intake assessment and health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 79, 80–86
- Fadil, M., Farah, A., Ihssane, B., Haloui, T., Rachiq, S. (2015).** Optimization of parameters influencing the hydrodistillation of *Rosmarinus officinalis* L. by response surface methodology. *Journal of Materials Environmental Science*, 6 (8), 2346-2357

FAO. (1990) Utilisation des aliments tropicaux : Céréales. FAO. Alimentation et Nutrition. 47/1. Rome.120 p

FAO. (2000). Bridging the rice yield gap in the Asia and Pasific region.Rap Publication, p 5

FAO. (2004). FAOSTAT-Agriculture Data, Agricultural Production, Crops Primary. [online].

FAO. (2021). Situation alimentaire mondiale:Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande.1p

Fizah, M. M. A. et Maha, A. H. (2013). Brown rice as healthy food and lowering blood sugar in rats. *Journal of American Science*, 9(4) p 17-28

Faridi, H. (1994). In Faridi H (ed) The science of cookie and cracker production. Chapman and Hall, New York, pp 1–22

Favier, J. C. (1989). Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations. Céréales enrégions chaudes. Aupelf-Urelf.Edition. John Lebbey Eurotext. Paris : 285-297.

Feillet, P. (2000). Le grains de blé, composition et utilisation. INRA. Paris. 308p.

Fellows, P. (2000). Food Processing Technology Principles and Practice. *2nd Edition.* Woodhead Publishing, Cambridge England. 575 p

Fokou, E., Achu, M. B., Kansci, G., Ponka, R., Fotso, M., Tchiégang, C. et Tchouanguép, F. M. (2009). Chemical properties of some *Cucurbitaceae* oils from Cameroon. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8 (9): 1325-1334

Fotouo-M, H., Vorster, J., Du Toit, E. S. et Robbertse, P. J. (2018). The effect of natural long-term packaging methods on antioxidant components and malondialdehyde content and seed viability Moringa oleifera oilseed. *South African Journal of Botany*.

Food and Nutrition Board, Institute of Medicine (2010). Comittee to Review Dietary Reference Intakes for Vitamin D and Calcium, Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D. Washington, DC: National Academy Press,

Frankel, E. N. (1996). Antioxidants in lipid foods and their impact on food quality. *Food Chemistry*, 57, 51–55

Fustier, P. J. (2006). Influence des fractions de mouture de blé tendre (farine patente, Decoupeure et basse) sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits. Thèse de Doctorat, Option Sciences en Technologies des Aliments, Département des Sciences

des aliments et de Nutrition, Faculté des sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec : 54 p

Gallagher, E. (2008). Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods. In *Gluten Free Cereal Products And Beverages*, Ardent e.k. and fabio dal bello. First Edition, *Academic press, Elsevier*, pp 321-341

Gallagher, E., O'brien C. M, Scannel A. G. et Arendt E. K. (2003). Evaluation of sugar replacers in short biscuit production. *Journal of Food Engineering*, 56,261-263

Gamal, E. A., Salah, M. A. et Mutlaq, M. A. I. (2012). Nutritional quality of biscuit supplemented with wheat bran and date palm fruits (*Phoenix dactylifera L.*). *Food and Nutrition Sciences*, 3, 322-328

Ganhao, R., Morcuende, D. et Estevez, M. (2010). Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts influence on color and texture deterioration during chill storage. *Meat science*, 85, 402-409

Genot, C., Eymard, S. Viau, M. (2000). Comment protéger les acides gras polyinsaturés à longue chaîne omega 3 (AGPI-LCw3) vis à vis de l'oxydation. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 11(2), 133

Giese, J. (1996). Fats and fat replacers, balancing the health benefits. *Food Technology*, 50: 76-78

Grigoras, C. G. (2012). Valorisation des fruits et des sous-produits de l'industrie de transformation des fruits par extraction des composés bioactifs. Thèse Université de Orléans, France, p.260

Guillen, M. D. et Cabo, N. (2002). Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. *Food Chemistry*, 77, 503-510

Gunst, R. F. (1996). Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments *technometrics*: 38(3) pp 284-286

Góngora, S. V. A., Vázquez, E. S., Corona, C. A. et Segura, C. M. R. (2018). Stevia rebaudiana : A sweetener and potential bioactive ingredient in the development of functional cookies. *Journal of Functional Foods*, 44, 183-190

Gontard, N. (2017). L'emballage alimentaire, innovation écologique dans toutes leurs dimensions, *novations agronomiques*, 2 (58), 1-9 P

Grail, Diet. (2020). Aluminum content of foods, <http://dietgrail.com/aluminum-content-of-foods/> accessed.March 2020

Granato, D., Branco, G. F., Nazzaro, F., Cruz, A. G. et Faria, J. A. F. (2010). Functional foods and nondairy probiotic food development: Trends, concepts, and products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3), 292– 302.

Greger, J. L. (2007). Dietary and other sources of aluminium intake. In D. J. Chadwick & J. Whelan(Eds.), *Aluminium in Biology and Medicine* (Novartis Foundation Symposia) (pp. 26–49). Chichester, UK: Wiley.

Griffith, T., Johnson, J. A. (1957). Relation of the browning reaction to storage of sugar cookies. *Cereal Chemistry*, 34, 159-169

Goupy, J. (1999). Plans d'expériences pour surfaces de réponse. Edition : DUNOD. paris : 13-15

Goupy, J. (2006). Les Plans d'expériences. Edition : Revue MODULAD. 75(34), p 77-134

Hadnadev, T. R. D., Torbica, A. M. et Hadnadev, M. S. (2013). Influence of buckwheat flour and carboxymethyl cellulose on rheological behaviour and baking performance of gluten-free cookie dough. *Food Bioprocess Technology*, 6(7), 1770–1781

Halverson, J. et Zeleny, L. (1988). Criteria of wheat quality. In Pomeranz, Y. (Ed). *Wheat: Chemistry and Technology*, Minnesota: *American Association of Cereal Chemists*.p 69-91

Hanif, R., Iqbal, Z., Iqbal, M., Hanif, S. et Rasheed, M. (2006). Use of vegetables as nutritional food: Role in human health. *Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 1 (1), 18-20

Harris, L. J. et Ray, S. N. (1935). Détermination of ascorbic acid in urine. Method using titration with 2,6 dichlorophenol indophenol. *Lancet* 1(176):462

Hemeda, H. M., Mohamed, E. F. (2010). Functional attribute of chickpea and defatted soybean flour blends on quality characteristics of shortening cake. *European Journal of Applied Sciences* 2 (2): 44-50

Hofmann, T. (1998). 4-alkylidene-2-imino-5-[4-alkylidene-5-oxo-1,3-imidazol-2-ynyl]azamethylidene-1,3-imidazolidine-A novel colored substructure in melanoidins formed by Maillard reactions of bound arginine with glyoxal and furan-2-carboxaldehyde. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 3896-3901

Horwitz, W. (2000). Official Methods of Analysis of AOAC. International. *17th Edition. AOAC International*, Maryland, USA.

Hossain, M. S., Singh, A. K. et Fasih-uz-Zaman. (2009). Cooking and eating characteristics of some newly identified inter sub-specific (Indica/Japonica) Rice Hybrids. *Science Asia*, 35: 320 – 325

Ibrahim, S. M. (2009). Evaluation of production and quality of salt-biscuits supplemented with fish protein concentrate. *World Journal of Dairy and Food Sciences*, 4(1), 28–31

Igoli, J. O., Ogaji, O. G., Tor-Anyiin, T. A. et Igoli N. P. (2005). Traditional medical practices among the Igede people of Nigeria. Part II. *African Journal Traditional complementary and Aternative Medicines*, 2(2): 134-152

Ihekoronye, A. I. (1999). Manual on small scale food processing. 1st Ed, *Academic publishers Nsukka*. p 32

Ikhuoria, E. U., Maliki, M. (2007). Characterization of avocado pear (*Persea americana*) and African pear (*Dacryodes edulis*) extracts. *African Journal Biotechnology*. 7, 950-954

Ikpeme, E. C. A., Osuchukwu, N. C. et Oshielel. (2010). Functional and sensory properties of wheat (*Aestiumirriticum*) and taro flour (*Colocasia esculenta*) composite bread. *African Journal of Food Science*, 4(5), 248-253

Induja, A., Siraj, P., Tripathi, M. et Tripathi, V. (2012). Development of soy fortified high protein and high calorie supplementary biscuits. *Indian Journal*. 54.Res.3(1): 51-58

INS, (2018).Institut National de la Statistique. Site Web: www.statistics-cameroon.org

Institute of Medicine, Food and Nutrition Board, (1997). Dietary reference intakes for calcium, phosporus, magnesium, vitamin D and fluoride. Washington(DC):National academies.ISBN-10:0-309-063507

IRRI(International Rice Research Institute) (2020). **World statistics Oneline Query Facility.**<http://ricestat.irri.org.8080wrsv3/entry point.htm>

Jarosz, M., Olbert, M., Wyszogrodzka, G., Kataryna M., Librowski T. (2017). Antioxydant and anti-inflammatory effects of zinc. Zinc-dependent NF-Kb signaling. *Inflammopharmacol*, 25:11-24

Jha, S. N. (2010). Non destructive evaluation of food quality: Theory and Practice. In S. N. Jha (Ed.), *Colour Measurements and Modeling; Springer*, pp. 17-40

Joglekar, A. M. et May, A. T. (1987). Product excellence through design of experiments. *Cereal Foods World*, 32:857–868

Juliano, B. O. (1984). Rice starch production properties and uses. In Whister, R. L., Bemiller, J. N. and Paschall, E F., Eds., *Starch Chemistry and Technology*, Academic Press, Orlando, 502-528

Juliano, B. O. (1993). Rice in human nutrition. Rome, Italy: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Retrieved from.p152

Juliano, B. O. (1994). Le riz dans la nutrition humaine. *Food and Agriculture Org.*144p

Juliano, B. O. (2003). Rice chemistry and quality. philippine rice research institute.402P

Juliano, B. O. et Bechtel, D. B. (1985). The rice grain and its gross composition. In B. O. Juliano (Ed.), *Rice chemistry and technology*. St. Paul, Minnesota, USA: *American Association of Cereal Chemists*,443-524

Kadam, S. U. et Prabhasankar, P. (2010). Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. *Food Research International*, 43(8), 1975–1980

Kadji, B., Romuald, L., Kone, F. M. Th., Sika, A. E. et Dabonne, S. (2016). Physico-chemical properties of Safou (*Dacryodes edulis*) fruits grown in Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*. 105:10103 –10110

Kaiser, V. A. (1974). Modeling and simulation of a multi-zone band oven. *Food Technology*. 28, 50 : 52-53

Kaanane, A. et Labuza, T. P. (1989). The Maillard reaction in food. In : The Maillard reaction in aging, diabetes, and nutrition : proceedings of a NIH Conference on the Maillard reaction in Aging, Diabetes, and Nutrition, held in Bethesda, *Maryland*, 22-23, 1988. A.R. Liss : New York, 301-327

Kanazawa, A., Sawa, T., Akaik, T. et Maeda, H. (2000). Formation of a basic sites in DNA by T-butyl peroxy radicals: implication for potent genotoxicity of lipid peroxy radical cancer letters 156, 51-55

Karlesking, A., et Wolff, J. P. (1992). Manuel des corps gras. Tome 1

Karam, S. (2004). Application de la méthodologie des plans d'expériences et de l'analyse de données à l'optimisation des processus de dépôt. Thèse de Doctorat de Electronique des hautes fréquences et optoélectroniques, faculté de des Sciences et

Techniques, 14p

Kaur, N., Chugh, V. et Gupta, A. K. (2014). Essential fatty acids as functional components of foods- a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10): 2289-2303

Kaupp, A. (1984). Gasification of rice hull: Theory and praxis. Federal Republic of Germany: Gate /GIZ, p 303

Kengue, J. (2002). Safou, *Dacryodes edulis*. International Centre for Underutilized Crops, Southampton, UK. 147 p.

Kengue, J. (2006). Manuel No.3. Safou. *Dacryodes edulis*. Manuel du vulgarisateur. Southampton International Centre for Underutilized crops.

Kengni, E., Tchoundjeu, Z., Tchouanguép F. M. et Mbofung. C. M. F. (2002). Sensory evaluation of *Dacryodes edulis* fruit types. *Forests Trees and Livelihoods* 11(1)

Kohlwey, D. E., Kendall, J. H. et Mohindra, R. B. (1995). Using the physical properties of rice as a guide to formulation. *Cereal Foods World*. 40(10):728-732

Lai, H.-M. (2001). Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chemistry*, 72, 455–463

Laignelet, B. (1997). Appréciation de la qualité technologique du riz. In GODON B., LOISEL W. Guide pratique des analyses dans les industries des céréales. *Lavoisier*. Tec et Doc/Apria. Paris:728-743. p 819

Lallemand Inc. (2000). Cookie and biscuit production. Lallemand Baking Update. 2(19)

Lara, E., Cortés, P., Briones, V. et Perez. M. (2011). Structural and physical modifications of corn biscuits during baking process. *LWT - Food Science and Technology* (44) 622-630

Leakey, R. R. B., Greenwell, P., Hall, M. N., Atangana, A. R., Usoro, C., Anegbeh, P. O. et Tchoundjeu, Z. (2005). Domestication of *Irvingia gabonensis*: 4. Tree-to-tree variation in food-thickening properties and in fat and protein contents of Dika. *Nutrition Science and Food Chemistry*, 90, 365– 378

Laureys, C. et Geeroms J. (2002). New insights in the unique characteristics of rice derivatives. Remy Industries N. V. Wijgmaal. 21

Leudeu Tchankou, B. C., Tchiegang, C., Gadet, D. M., Barbe, F., Nicolas, B., Sokeng, S., Fewou, M. P., Kapseu, C., Parmentier, M. et Guerant, J-L. (2006). Effet of *Canarium*

Schweinfurthii and *Dacryodes edulis* Oils on Blood Lipids, Lipids Peroxidation and Oxidative Stress in Rats. *Journal of Food Technology*, 4(4): 275-282

Luh, B. S. et Liu, Y. (1980). Rice flour in baking. In Luh, B.S. (eds) : Rice Production and Utilisation. AX/I Publ. Coy Inc. *Westport Conn*, pp. 470-483

Law, D. A. (2010). An energy analysis and characterization of safou(*Dacryodes edulis*) as biofuel feedstock. Thesis submitted to graduate school

Maache- rezzoug, Z., Bouvier, J. M., Allaf, K. et Patras, C. (1998a). Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering*. 35: 23-42

Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J, Allaf, K. et Patras, C. (1998b). Study of mixing in connection with the rheological properties of dough and dimensional characteristics of biscuits. *Journal of Food Engineering* 35: 43-56

Machiels, D., Istasse, L. (2002). La reaction de maillard:Importance et application en chimie des aliments. *Annale Médecine Vétérinaire*,146, 347-352

Madsen, M. H., Christensen, D. H. (1996). Changes in viscosity properties of potato starch during growth. *Starch/Starke* 48(7-8):245-249

Manohar, R. S. et Rao, P. (2002). Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. *Food Research International*. 35 : 807-813

Maillard, L. C. (1912). Action des acides aminés sur les sucres : formation des mélanoidines par voie méthodique. *Comptes Rendu Hebdomadaire Séances Académie des Sciences*, 154, 66-68

Malaa, D. K. et Nzodjo P., (2011). “Strengthening the availability and access to rice statistics for Sub-Saharan Africa: a contribution to the emergency rice initiative” Yaounde-Cameroon

Malgorzata, B., Jaroslawa, R., Agnieszka, B. et Agata, A. (2016). Oxidative Stability of Lipid Fraction of Cookies Enriched with Chokeberry Polyphenols Extract. *Pol. Journal of Food and Nutrition Science*, 66(2), pp. 77–84

Mamat, H. et Hill, S. E. (2012). Effect of fat types on the structural and properties of dough and semi-weet biscuit. *Journal Food Science Technology*,

- Mamat, H. et Hill, S. E. (2014).** Effect of fat types on the structural and textural properties of dough and semi-weet biscuit. *Journal of Food Science and Technology* 51(9):1998-2005.
- Mamat, H. et Hill, S. E. (2018).** Structural and functional properties of major ingredients of biscuit. *International Food Research Journal*, 25(2):462-471
- Manley, D. J. R. (1998).** Biscuit, cookies and crackers manufacturing, Manual 6: Packaging and Storing. 3rd Ed. (Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England), pp 5.
- Manly, D. (1998).** Biscuits, cookies and crackers manufacturing manuals. Edition, CRC, 2000, Woodhead publishing limited, Cambridge England. pp. 15–20
- Manoharr, S. et Rao P., H. (1999a).** Effects of water on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. Springer-Verlag. *European Food Research and Technology*. 209. 281–285
- Manoharr, S. et Rao P., H. (1999b).** Effect of emulsifiers, fat level and type on the rhéological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 79: 1223-1231
- Manoharr, S. et Rao P., H. (2002).** Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. *Food Research International*. 35 : 807-813
- Maruyama, T. (1995).** Briquette and international cooperation. *Nihon Energy Gakkaishi*, 74 (2), 77-83
- Markovic, I., Ilic, J., Markovic, D., Simonovic, V., Kosanic, N. (2013).** “Color measurement of food products using CIE L*a*b* and RGB color space”. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 4, pp. 50-53
- Marquez-Ruiz, G., Garcia-Martinez, M. C., Holgado, F. (2008).** Changes and effects of dietary oxidized lipids in the gastrointestinal tract. *Lipids Insights*, 2, 11–19
- Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M. C., Lerici, C. R. (2001).** Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends Food Sciences and Technology*, 11, 340-346
- Menard, G., Emond, S., Segin, R., Bolduc, R., Boudreau, A., Marcous, D., Painchaud, M., et Poirier D. (1992).** La biscuiterie industrielle. In, BOUDREAU A., MENARD G. (1992). Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l’université Laval. Sainte-Foy. Canada : 287-348. 439 p

Mbofung, C. M. F., Silou, T. et Mouragadja, I. (2002). Chemical characterization of safou (*Dacryodes edulis*) and evaluation of its potential as an ingredient in nutritious biscuits. *Forests, Trees and Livelihoods*, 12, 105–117

Mihiranie, S., Jayasundera, M. et Perera, N. (2017). Development of snack crackers incorporated with defatted coconut flour. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, 7, 153–159

Min, D. B. et Boff, J. M. (2002). Lipid oxidation of edible oil. In: Akoh CC, Min DB, Eds. *Food Lipids*. New York: Marcel Dekker. 335–363

Min, D. B. et Bradley, G. D. (1992). Fats and oils: flavors. In: Hui YH, editor. Wiley encyclopedia of *Food Science and Technology*. New York: John Wiley and Sons. 828 – 832

Mohtadji-lamballais, C. (1989). Les aliments. Editions Maloine. Paris. 203 p

Montreuil, J., Spik, G. et Tollier, M. T. (1981). Dosages colorimétriques des glucides. In Deymié B., Multon J-L. and Simon D. (Eds), *Techniques d'Analyse et de Contrôle dans les Industries Agro-Alimentaires*, 4: 85- 143

Moore, S., Spackman, D. H., Stein, W. H. (1958). Chromatography of amino acid on sulfonated polystyrene resins. An improve system. *Analytical Chemistry*, 30, 1185-1190

Moukani, F. C. B., Dhellot, J. R. L., Itoua, I., Massamba, D. (2019). Characterization of Physicochemical and Sensory Product of Snack Made from the Pulp of the Fruit of Safou Tree (*Dacryodes edulis*) in Brazzaville, Congo. *International Journal for Innovative Research in Science and Technology*, 5(8): 2349-6010

Mosely, W. G., Carney, J. et Becker L, (2010). Neoliberal policy, rural livelihoods, and urban food security in West Africa: A comparative study of The Gambia, Côte D'Ivoire, and Mali. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 107(13): 5774–9

Nagao, M., Takahashi, Y., Yamanaka, H., Sugimurat, (1979). Mutagens in coffee and tea. *Mutation Research*, 68, 101-106

Navneet, K. et Shitij, K. (2011). Development of carrot pomace and wheat flour-based cookies. *Journal of Pure and Applied Science and Technology*, 1, 4–10

- Nazni, P. et Gracia, J. (2014).** Optimisation of fibre rich Barnyard Millet Bran cookies using Response Surface Methodology. *International Journal of Agriculture and food Science*,4,p100-105
- Mishra, N. et Chandra, R. (2012).** Development of functional biscuit from soy flour &rice bran. *International Journal of Agricultural and Food Science*. ISSN 2249-8516
- Nagi, H. P. S., Kaul, J., Dar, B.N. et Sharma, S. (2012).** Effect of storage period and packaging material on shelf life of cereal bran incorporated biscuits. *American Journal of Food Technology* 7(5): 301-310
- Ndindeng, S. A., Bella-Manga, K. J., Talle et Lewis, D. L. (2008).** Quality Standards for *Dacryodes edulis* (Safou). Research Report No 5, *International Center for Underutilized Crops*, Colombo, Sri Lanka, 26 pp
- Ndindeng, S. A., Kengue, J., Mbacham, W. F., Titanji, V. P. K. et Bella-Manga. (2007).** Effects of 1-methylcyclopropene treatment on the shelf-life and quality of safou (*Dacryodes edulis* (G. Don) H. J. Lam). *Forest, Trees and Livelihoods*, 17, 75–89
- Ndindeng, S. A., Manful, J. T., Futakuchi, K., Mapiemfu, D. L., Akoa-Etoa, J. M., Bigoga, J., et Moreira, J. (2015).** A novel artisanal parboiling technology for rice processors in sub-Saharan Africa. *Food Science & Nutrition*, 3, 557–568
- Ndindeng, S. A., Manful, J. T., Futakuchi, K., Mapiemfu, D. L., Akoa-Etoa, J. M., Bigoga, J., Moreira, J. (2015).** A novel artisanal parboiling technology for rice processors in sub-Saharan Africa. *Food Science and Nutrition*, 3, 557–568
- Ndindeng, S. A., Mbassi, J. E. G., Mbacham, W. F., Manful, J., GrahamAcquaah, S., Moreira, J. et Futakuchi, K. (2015).** Quality optimization in briquettes made from rice milling by-products. *Energy for Sustainable Development*, 29, 24–31
- Ndindeng, S. A., Talle, B. J., Kengue, J. et Boffa, J.-M. (2012).** Predictors of organoleptic quality of boiled and dried pulp of safou (*Dacryodes edulis*) and the shelf life of its fresh fruits. *Fruits*, 67, 127–136
- Ndindeng, S. A., Danbara, N., Mapiemfu, D. L., Moreira, J. (2021).** Valuation of rice postharvest losses in Sub-saharan African and its mitigation strategies. *ScienceDirect. Rice Science*, 28(2)

- Negoita, M., Lorga, E., Mihal, L. A., Spadaro, G. (2017).** Investigation regarding the influence of certain types of fat content on acrylamide level of biscuits. *Journal of Food Engineering and Design*. 33:547-915
- Nishita, K. D. et Bean, M. M. (1982).** Grinding methods: Their impact on rice flour properties. *Cereal Chemistry*, 59, 46–49
- Nogueira, A. D. C. et Steel, C. J. (2018).** Protein enrichment of biscuits: A review. *Food Reviews International*, 34(8), 796–809
- Noor Aziah, A. A., Mohamad Noor, A. Y. et Ho, L.-H. (2012).** Physicochemical and organoleptic properties of cookies incorporated with legume flour. *International Food Research Journal*, 19, 1539–1543
- Noumi, G. B., Djounja, T., Ngameni, E. et Kapseu, C. (2014).** Influence of the storage time on the fats and oil composition of safou (*Dacryodes edulis*) dried pulp. *International Food Research Journal*. 21(5): 1837-1841
- Noumi, G. B., Njouokam, Y. M., Njiné, C.B, Ngameni, E. et Kapseu, C. (2011).** Effets du séchage sur le rendement et la qualité de l’huile extraite de la pulpe de safou. *Tropicultura*, 29, 3, 138-142
- Nwosuagwu, U. H., Onuegbu, N. C. C. et Nkwoala, C. (2009).**The chemical properties of African pear pulp at different stages of fruit development. *International NGO Journal* . 4 (9), pp. 380-385
- O’Brien, C. M., Chapman, D., Neville, D. P., Keogh, M. K. et Arendt, E. K. (2003).** Effect of varying the microencapsulation process on the functionality of hydrogenated vegetable fat in short dough biscuits. *Food Research International*, 36: 215-221
- Odenigbo, A. M., Ndindeng, S. A., Nwankpa, C. A., Woin, N. et Ngadi, M. (2013).** In Vitro Starch Disgestibility and Nutritional Composition of improved Rice Varieties from Cameroon. *European Journal of nutrition and Food Safety*, 3(4):134-145
- Ogboru, R. O., Okolie, P. L. et Agboje, I. (2015).** Phytochemical Screening and Medicinal Potentials of the Bark of *Dacryodes edulis* (G. Don) H. J. Lam. *Journal Environmental Analytical Chemistry*, 2, 158
- Ogunsuyi, H. O. (2015).** Production of biodiesel using African pear (*Dacryodes edulis*) seed-oil as feedstock. *Academia Journal of Biotechnology* 3(5), 085-092

- Okaka, J. C. (1997).** Cereals and legumes storage and processing technology. Obio printing and publishing coy 19 Church road, Enugu.p:117 -130
- Oko, A. O., Ubi, B. E., Efiue, A. A., Dambaba, N. (2012).** Comparative analysis of the chemical nutrient composition of selected local and newly introduced rice varieties grown in Ebonyi State of Nigeria. *International Journal of Agricultural Science*, 2(2),16-23
- Olugbenga O., Awolu, Olufunmilayo S. O., Olumide, O. et Modupe, D. (2017).** Optimization of production and quality evaluation of maize- based snack supplemented with soybean and tiger- nut (*Cyperus esculenta*) flour. *Food Science and Nutrition*, 5(1): 3–13
- Omonhinmin, A. C. (2012).** Ethnobotany of *Dacryodes edulis* (G.Don) H.J. Lam in Southern Nigeria 1: Practices and applications among the yoruba speaking people. *Ethnobotany Research and Applications*, 10, 175-184
- Omoti, U. et Okiy, D. A. (1987).** Characteristics and composition of oil and cake of African pear” *Journal of the Science of food and Agriculture*, 38, 1, pp. 67-72
- Ondo-Azi1, S., Ella Missang, C., Nguema Ndoutoumou, P. et Silou, Th. (2017).** Classification of Safou (*Dacryodes edulis*) fruit size and shape on mass and outer dimensions. *Journal of Agriculture and Veterinary Science* .10, 6 Ver. II, PP 64-67
- Onuegbu, N. C. et Ihediohanma, N. C. (2008).** Some Proximate Analysis of African Pear (*Dacryodes Edulis*). *Journal Applied. Sciences. Environ. Manage.* 12(1) 83 – 85
- Onwuka, G. I. (2005).** Food analysis and instrumentation (Theory and Practice). Naphtali Prints, Surulere, Lagos-Nigeria, pp. 140-160
- Onyango, A. O. (2014).** Exporing options for improving rice production to reduce hunger and poverty in Kenya. *World Environment*, 4(4):172-179
- Ogmobai, B. A. et Ojeaburu, S. (2010).** Nutritional Composition And Microbial Spoilage Of *Dacryodes edulis* Fruits Vended In Southern Nigeria. *Science Journal* ,5, p. 5-10
- Okafor, J. C. (1983).** Varietal delimitation in *Dacryodes edulis* (G. Don) H. J. LAM (*Burseraceae*). *international Tree Crops Journal* 2: 255–265
- Okaka, J. C. (1997).** cereals and legume storage and processing technology. Ogui-Enugu , Nigeria:data and microsystem publishers; 133 P
- Okpala, L. C. et Chinyelu, V. A. (2011).** Physicochemical, Nutritional And Organoleptic Evaluation Of Cookies From Pigeon Pea (*Cajanus cajan*) And Cocoyam (*Xanthosoma* sp) Flour Blends. *African Journal of food Agriculture nutrition and development*, 11(6)

- Ovando-Martinez, M., Sáyago-Ayerdi, S., Agama-Acevedo, E. E., Goñi, I. A. et BelloPérez, L. A. (2009).** Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chemistry*, 113(1), 121–126
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. et Anthony, S. (2009).** Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. (<http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>)
- Oyeyinka S. A., Oyeyinka A. T., Karim O. R., Toyeeb K. A., Olatunde S. J. et Arise A. K. (2014).** Biscuit making potentials of flours from wheat and plantain at different stages of ripeness. *Croatian Journal of Food Science and Technology*. 6 (1) 36-42
- Pareyt, B., Brijs, K. et Delcour, J. A. (2009).** Sugar snap cookie dough setting: the impact of sucrose on gluten functionality. *Journal of agriculture and food chemistry* 51(4): 1057-1063.
- Pauly, A., Pareyt, B., Fierens, E. et Delcour, J. A. (2013).** Wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. turgidum* L. ssp. durum) kernel hardness: ii. implications for end-product quality and role of puroindolines therein. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12 (4): 427 – 438
- Peter, F. et Axtell, B. (1993).** Appropriate Food Packaging, Publ. Transfer of Technology for Development. Amsterdam, International Labor office, Geneva.
- Prasanth, K .P. K., Sai, M. R., Indiramma, A. R. et Gopala, K. A. G. (2014).** Stability of oryzanol fortified biscuits on storage. *Journal Food Science and Technology* 51(10) :2552–2559
- Poligui, R. N., Mouaragadja, I., Haubruge, E. et Francis, F. (2013).** La culture du safoutier (*Dacryodes edulis* [G.Don] H. J. Lam [*Burseraceae*]) : enjeux et perspectives de valorisation au Gabon (synthèse bibliographique). *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*. 17(1), 131-147
- Pourmohammadi, K., Najafi, M. B. H., Majzoobi, M., Koocheki, A. et Farahnaki, A. (2017).** Evaluation of dough rheology and quality of sugar free biscuits: Isomalt, maltodextrin, and stevia. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 9(4), 119–130.
- Rabier, F. (2007).** Modélisation par la méthode des plans d’expériences du comportement dynamique d’un module IGBT utilisé en traction ferroviaire. Thèse de Doctorat en Génie Mécanique. Ecole doctorale matériaux – structure – mécanique, p181

- Rai, S., Kaur, A. et Singh, B. (2014).** Quality characteristics of gluten free cookies prepared from different flour combinations. *Journal of Food Science and Technology*, 51(4), 785–789.
- Rao, T. S. S., Ramanuja, N., Ashok, et Vibhakar, H. S., (1995).** Storage properties of whole egg powder incorporated Biscuits. *Journal of Food Science Technology*, 32, 470–476
- Razak, M. A., Begum, P. S., Viswanath, B. et Rajagopal, S. (2017).** Multifarious beneficial effect of nonessential amino acid, glycine: A review. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 171-701
- Ray, B. (2005).** *Fundamental Food Microbiology*. (3rd edtn), Florida, CRC Press
- Ross, T. A. (1996).** Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology. *Journal of Applied Bacteriology*, 81:501-508
- Rutsaert, P., Demont, M. et Verbeke, W. (2013).** Consumer preferences for rice in Africa. In Wopereis MCS, Johnson D, Ahmadi N, Tollens E & Jalloh A (eds.): *Realizing Africa's rice promise*. Wallingford, UK: CABI Publishing
- Sachithra, M., Mithila, J. et Niranjalie, P. (2017).** Development of snack crackers incorporated with defatted coconut flour. *Journal Microbiology, Biotechnology Food Sciences*. 7 (2) 153-159
- Saleh, A. M., Salama, A. D., Bedeir, H. et Abdelazim, E. I. (2012).** Effect of Partial Substitution of Wheat Flour with either Defatted Soya bean or chickpea Flour sat Different Ratios on Rheological and Physical Properties of Doughand Quality Characteristics of Biscuits. *Journal of Applied Scientific Research*, 8(12), 5806–5817
- Savoie, I., Trystram, G., Duquenoy, A., Brunet, P. et Marchin, F. (1992).** Heat and Mass Transfer Dynamic Modeling of an Indirect Biscuit Baking Tunnel-Oven. Part I: Modeling Principles. *Journal of Food Engineering*. 1: 173-196
- Schreckenber, K., Degrande, A., Mbosso, C., Boli, Baboulé, Z., Boyd, C., Enyong, L., Kanmegne, J. et Ngong, C. (2002).** The social and economic importance of *Dacryodes edulis*(G. Don) H.J Lam in Southern Cameroon. *Forests, Trees and Livelihoods* 12(1/2): 15–40
- Shaheen, N., Atma, R., Mohiduzzaman, M., Banu, C. P., Bari, M. L., Tukun., A. B., Mannan, M. A., Bhattacharje, L. et Stadlmayr, B. (2013).** Food composition table for Bangladesh. *Institute of Nutrition and Food Science*, Center for Advance Research Science. University of Dhaka, Bangladesh, p, 2-13

- Shang, A. R. Y., Gan, X. Y., Xu, Q. Q., Mao, P. Z., Zhang, et Li H. B. (2020).** “Effects and mechanisms of edible and medicinal plants on obesity: an updated review,” *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, pp. 1–17
- Shenoy, R. (1993).** Maillard reaction and its applications. *Journal of Science and Industrial Research*, 52, 684-689
- Shittu, T. A., Raji. A. O. et sami, L. O. (2007).** Bread from composite cassava wheat flour. I. effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. *food research international* 40, 280-290
- Seck, P. A., Tollens, E., Wopereis, M. C. S, Diagne, A. et Bamba, I. (2010).** Rising trends and variability of rice prices: Threats and opportunities for sub-Saharan Africa. *Food Policy* 35(5): 403–11
- Selselet-Attou, G. (1991).** Technologie des céréales et produits dérivés. Institut de Technologie Agricole-Mostaganem. Document à l’usage des étudiants, option : Technologie Agro-Alimentaire. 147 p
- Silou, T. et Biyoko, S. (2007).** Post-harvest losses by natural softening of safou pulp (*Dacryodes edulis*) in Congo-Brazzaville. *Journal of Food Engineering*,79(2),p:362-400
- Silou, T. (1994).** Le safou (*Dacryodes edulis*(G. Don H. J. Lam).Oleagineux a vocation regionale dans le golfe de guinee, syntheses des donnees physico-chimiques et technologique, Actes du seminaires regional sur la valorisation du safoutier, pp.123-1442
- Silou, T. (1996).** Le safoutier (*Dacryodes edulis*), un arbre mal connu, *Fruits* 51: 47 – 60
- Silou, T. Rocquelin, G., Mouaragadja, I. et Gallon, G. (2002).** Chemical composition and nutrition characteristics of safou of cameroon, the Congo-Brazzaville the Congo-kinshasha and Gabon. *Riv. Ital.Sostanze Grasse*,79(5), 177-182
- Singh, A. et Kumar, P. (2017).** Gluten free approach in fat and sugar amended biscuits: A healthy concern for obese and diabetic individuals. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(e13546), 1–7
- Singh, N., Sodhi, N. S., Kaur, M. et Saxena, S. K. (2003).** Physico-chemical, morphological, thermal, cooking and textural properties of chalky and translucent rice kernels. *Food Chemistry* 82: 433 – 439

- Soetan, K. O., Olaiya, C. O. et Oyewole, O. E. (2010).** The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African Journal of food Sciences*. 4 (5), 200-222
- Songré-Ouattara, Goubgou, M. et Savadogo, A. (2017).** Impact de l’emballage et de la durée de conservation sur la qualité nutritionnelle et microbiologique des biscuits de sorgho enrichis au moringa et à la spiruline. *Journal of Applied Biosciences* 109 P: 10561-10570
- Sonwa, D. J., Okafor, J. C., Mpungi Buyungu, P., Weise, S. F, Tchatat, M., Adesina, A. A., Nkongmeneck, A. B., Ndoye, O., Endamana, D. (2002).** *Dacryodes edulis*, a neglected nontimber forest species for the agroforestry systems of West and Central Africa. *Forests Trees Livelihoods* 12 (1/2) 41–55
- Sotelo, A., Sousa, V. et Montalvo, I. (1990).** Chemical composition of different fractions of 12 mexican varieties of rice obtained during milling. *Cereal Chemistry*, 67(2): 209-212
- Stauffer, C. E. 1998.** Fats and oils in bakery products. *Cereal Foods World* 43:120–126
- Steele, R. (2004).** Understanding and measuring the shelf-life of food. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge. U.K., pp 50
- Sulieman, A. A., Zhu, K.-X., Peng, W., Hassan, H. A., Obadi, M., Siddeeg, A. et Zhou, H.-M. (2019).** Rheological and quality characteristics of composite gluten-free dough and biscuits supplemented with fermented and unfermented *Agaricus bisporus* polysaccharide flour. *Food Chemistry*, 271, 193–203
- Swapna, K. S. et Jayaraj Rao, K. (2016).** Studies on effect of oat and cheese incorporation on sensory and textural quality of short-dough type biscuit. *Journal of Food Science and Technology*, 53(3), 1505–1514
- Syamaladevi, R. M., Tang, J., Villa-Rojas, R., Sablani, S., Carter, B. et Campbell, G. (2016).** Onfluence of water activity on thermal resistance of microorganisms in low-moisture foods: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 353-370
- Sudha, M. L. R., Vetrmani, K. et Leelavathi, K. (2007).** Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics
- Suresh, C. et Samsher, (2013).** Assessment of functional properties of different flours. *African Journal of Agricultural Research*, 8(38), pp 4849-4852

- Tabuna, H. et Kayitavu, I. (2009).** Diagnostic technique et perspective de développement des unités de transformation des produits forestiers non ligneux alimentaires au Cameroun et en Afrique centrale. p1-50.
- Tabuna, H. (2000).** Les produits forestiers non ligneux alimentaires de l’Afrique Centrale sur les marchés français et belge, Museum National d’Histoire Naturelle de Paris, PhD Thesis. pp.226
- Tchoundjeu, Z., Kengue J. et Leakey R. R. B. (2002).** Domestication of *Dacryodes edulis*: state-of-the art, *Forests, trees and Livelihoods*, 12, 3-13
- Tharrault, J. F. (1997).** Qualité biscuitière des farines de blé tender: des blés biscuitiers pour une bonne maîtrise de la texture des biscuits. In, GODON B. et LOISEL W. Guide pratique d’analyse dans les industries des céréales. *Lavoisier*. Tec. et doc. Paris. 819 p
- Thorvaldsson, K. et Janestad, H. (1999).** A model for simultaneous heat, water and vapour diffusion, *Journal of Food Engineering*. 40 :167-172
- Tang, E. N., Ndindeng, S. A., Bigoga, J., Traore, K., Silue, D. et Futakuchi, K. (2019).** Mycotoxin concentrations in rice from three climatic locations in Africa as affected by grain quality, production site, and storage duration. *Food Science and Nutrition*, 7, 1274–1287
- Tarancon, P., Fiszman, S. M., Salvador, A. et Tarrega, A. (2013).** Formulating biscuit with healthier fats. Consumer profiling of textural and flavor sensations during consumption. *Food Research International*, 53(1), 134–140.
- Temple, J. (1999).** The New Growth Evidence. *JEL*. 37 (1): 112 -156
- Thomson, L. S. (1976).** “Flour needs for the commercial cracker process”. *Cereal Food World*, 21, pp. 642–644
- Todou, G., Coppens D’eeckenbrugge, G. H. I. J., Akoa, A., Onana, J-M. et Achoundong, G. (2013).** Climatic niche of *Dacryodes edulis* (G. Don) H. J. Lam (*Burseraceae*), a semi-domesticated fruit tree native to Central Africa. *Journal of Ecology and the Natural Environment*. 5(9), pp. 231-240
- Tsen, C. C., Eystone, W. et Weber, J. (2006).** Evaluation of the qualities of cookies supplemented with distillers, dried grain flours. *Journal of Food Science*, 47: 684-685
- Tsuji, H., Kimoto, M. et Natori, Y. (2001).** Allergens in major crops. *Nutrition Research*, 21, 925–934
- Te Velhuis, A. J. W., van den Worm, S. E. V., Sims, A. C., Baric, R. S., Snijder, E. J., et van Hemert, M. J. (2010).** Zn²⁺ inhibits coronavirus and arterivirus RNA polymerase

activity in vitro and zinc ionophores block the replication of these viruses in cell culture. *PLoS Pathogen*, 6(11), 100-176

Trindade, L. R., Da Silva, D. V. T., Baião, D. D. S., Paschoalin, V. M. F. (2021). Increasing the Power of Polyphenols through Nanoencapsulation for Adjuvant Therapy against Cardiovascular Diseases. *Molecules*, 26, 4621

Uchenna, J. C. et Omolayo, T. F. (2017). Development and quality evaluation of biscuits formulated from flour blends of wheat, bambara nut and aerial yam. *Annals of Food Science and Technology*, 18, 51–56

Ujowundu, C. O., Kalu, F. N., Okafor, E. O., Agha, C. N., Alisi, C. S. et Nwaoguikpe, R. N. (2010). Evaluation of the chemical composition of *Dacryodes edulis* (G. Don) seeds. *International Journal Biological and Chemical Sciences*, 4(4): 1225-1233

United States Department of Agriculture (USDA) (2020). Nutrient Lists from Standard Reference Legacy 2018. Food and Nutrition Information Center, National Agricultural Library. <https://www.nal.usda.gov/fnic/nutrient-lists-standard-reference-legacy-2018> accessed on March 6, 2020

Van Hoed, V., Depaemelaere, G., Vila Ayala, J., Santiwattana, P., Verhé, R, et De Greyt, W. (2006). Influence of chemical refining on the major and minor components of rice bran oil. *Journal of American Oil Chemist' Society*, 83(4) p: 315-321

Van Stuijvenberg, M. E., Dhansay, M. A., Lombard, C. J., Faber, M. M. et Benadé, A. J. S. (2001). The effect of a biscuit with red palm oil as a source of b-carotene on the vitamin A status of primary school children: A comparison with β carotene from a synthetic source in a randomized controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, 55(8), 657–662.

Vatankhah, M., Garavand, F., Elhamirad A. et Yaghbani M. (2015). Influence of sugar replacement by stevioside on physicochemical and sensory properties of biscuit. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 7 (3): 393-400

Verma, D. K. et Srivastav, P. P. (2017). Proximate composition, mineral content and fatty acids. *Rice Science* 24:21-31

Vitali, D., Dragojević, I.V. et Šebečić, B. (2009). Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food chemistry* 114: 1462-1469

Villareal, C. P., Juliano, B. O. et Hizukuri, S. (1993). Varietal differences in amylopectin staling of cooked waxy milled rices. *Cereal Chemistry*, 70, 753 – 758

- Vujic, L., Cepo, V., D., Dragojevic, V., I. (2014).** Impact of dietetic tea biscuit formulation on starch digestibility and selected nutritional and sensory characteristics. *Lebensmittel-Wissenschaft un-technologie* 62:1
- Wade, P. (1988).** Biscuits, cookies and crackers. Vol. 1: The principles of the craft. Elsevier applied science publishers LTD, crown house, Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU, England, 176
- Wani, S. H., Gull, A., Allaie, F. et Safapuri, T. A. (2015).** Effects of incorporation of whey protein concentrate on physico-chemical, texture, and microbial evaluation of developed cookies *Cogent. Food and Agriculture*. 1(1): 109-116
- Warinporn, K. et Geoffrey, S. (2018).** Biscuits: A Substitution of Wheat Flour with Purple Rice Flour. *Advances in Food Science and Engineering*, 2 (3)
- Waruhiu, A. N. (1999).** Characterization of fruits traits towards domestication of an indigenous fruit tree of west and central Africa: A case of *Dacryodes edulis* in Cameroon. M.Sc. Thesis, University of Edinburgh, 58p
- Waruhiu, A. N., Kengue, J. Atangana, A. R., Tchoundjeu, Z. et Leakey, R. R. B. (2004).** Domestication of *Dacryodes edulis*: 2. Phenotypic variation of fruit traits in 200 trees from four populations in the humid lowlands of Cameroon. *Food, Agriculture and Environment* 2, 340-346
- Winger, M., Khouryieh, H., Aramouni, F. et Herald, T. (2014).** Sorghum flour characterization and evaluation in gluten-free flour tortilla. *Journal of Food Quality*, 1 – 12
- Williams, J. A. Bartoshuk, L. M. Fillingim, R. B. et Dotson, C. D. (2016).** “Exploring Ethnic Differences in Taste Perception”. *Chemical Senses*, 41, pp, 449–456
- Worobo, R. et Padilla-Zakour, O. (1999).** Water activity: another critical factor for safety of food products. *Venture*. 1(4): 1 - 5
- Yagi, K. (1976).** a simple fluorometric assay for lipoperoxide in blood plasma. *Biochemical medicine* 15:212
- Yam, K. L., Takhistov P. T. et Miltz. J. (2005).** Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science* 70:1–10
- Yaylayan, V. A., Wnorowski, A. et Perez L. C., (2003).** Why asparagines needs

carbohydrates to generate acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1753-1757

Yildiz, F. (2010). Advances in food Biochemistry. CRC Press, USA. Karaoğlu MM, Kotancilar HG. Quality and textural behaviour of par-baked and rebaked cake during prolonged storage. *International Journal of Food Science and Technologie*, 44:93-99

Yimaki, G., Hawrysh, Z. J., Hardin, R. T. et Thomson, B. R. (1991). Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads : sensory evaluation. *Journal of Food Science*, 53 (3): 751-759

Yousaf, M. (1992). Study on some Physico-chemical characteristics affecting cooking and eating qualities of some Pakistani Rice Varieties, M.Sc. Thesis Department of Food Technology, University of Agriculture Faisalabad, Pakistan.

Zanoni, B., Peri, C., Bruno, D. (1995). Modelling of browning kinetics of bread crust during baking, *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 28, 604–609

Zoulias, E. I., Oreopoulou, V., Kounalaki, E. (2002). Effect of fat and sugar replacement on cookie properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(14)/p.1637-1644

Zucco, F., Borsuk, Y. et Arntfield, S., D. (2011). Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT - Food Science and Technology*. 44(10): 2070-2079

Zydenbos, S. et Humphrey-Taylor, V. (2003). Biscuits, cookies, and crackers New Zealand Institute for Crop and Food Research Limited, Christchurch, New Zealand, Copyright 2003, Elsevier Science Ltd. pp1

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1. Fiche Optimisation des proportions de blé, riz, beurre et de safou dans les biscuits

Date:.....

Nom & Prénom:.....

Nombres de biscuits:.....

Encercler la note appropriée ou déterminer l'intervalle correspondant à chaque attribut

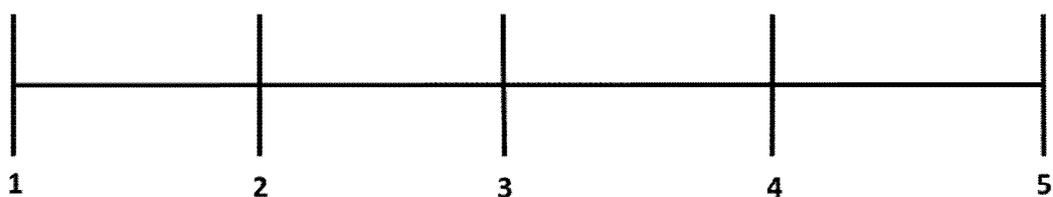
Merci d'avoir accepté notre invitation à participer à cette évaluation de biscuits. Pour chaque descripteur, veuillez indiquer sur l'échelle votre score de préférence. Votre score peut être compris entre 1 et 5. Par exemple, un score peut être de 1 ou 3,4 ou 5 ou 1,5 etc. Vous pouvez indiquer votre score en créant une marque sur l'échelle qui représente le mieux votre réponse.

Merci

1- granulométrie

Très faible

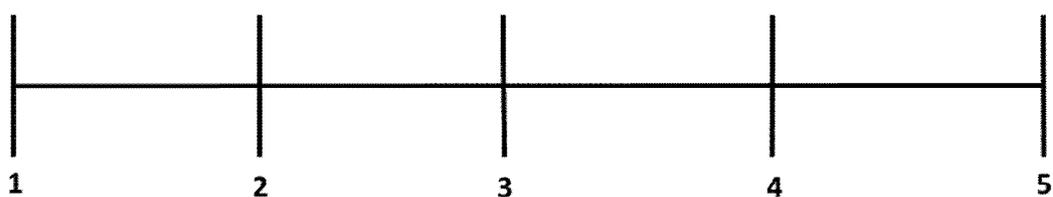
Très élevé



2- fondant

Très faible

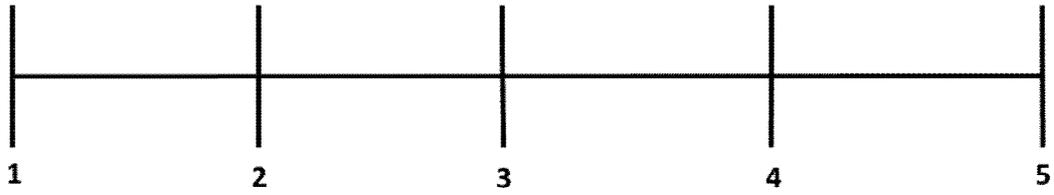
Très élevé



3-Forme

Très mauvais

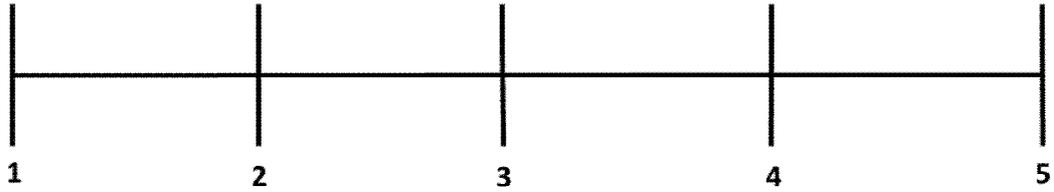
Très excellent



4-Croustillant

Très faible

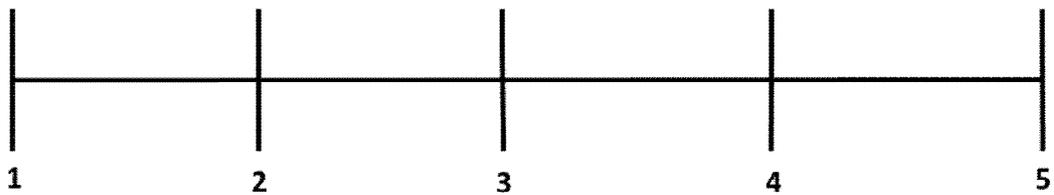
Très élevé



5-Dureté

Très faible

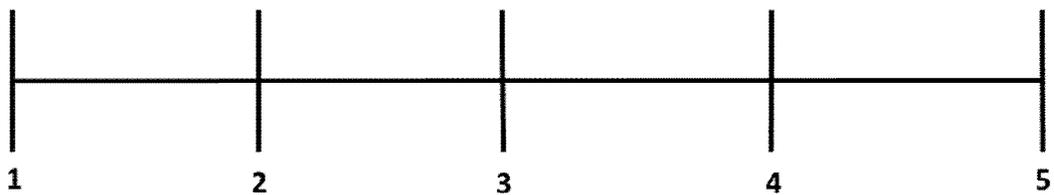
Très élevé



6-Arôme

Très faible

Très élevé



7- La qualité globale

Très mauvais

Très excellent

Annexe 2. Fiche sensorielle descriptive des différents biscuits

| | | | |
|------|--|-------------------|--|
| Date | | Nom et prénoms | |
|------|--|-------------------|--|

| | | Code du Produit | | | | | |
|------------|---|-----------------|--|--|--|--|--|
| Propriétés | | | | | | | |
| Au nez | percevez-vous une odeur Si oui décrivez-le | | | | | | |
| | Intensité | | | | | | |
| En bouche | Intensité de l'arôme | | | | | | |
| | Saveurs | | | | | | |
| | sucré | | | | | | |
| | salé | | | | | | |
| | acide | | | | | | |
| | amer | | | | | | |
| | Textures | | | | | | |
| | croustillant | | | | | | |
| | gras | | | | | | |
| | fondant | | | | | | |
| | friable | | | | | | |
| | granuleux | | | | | | |
| | Qualité globale | | | | | | |

Echelle à six points pour
l'évaluation de l'intensité
des saveurs et des arômes

- 0 Absence
- 1 Très faible
- 2 Faible
- 3 Net
- 4 Prononcé
- 5 Très prononcé

Echelle à six points pour
l'évaluation de la qualité globale

- 0 Très désagréable
- 1 Désagréable
- 2 Plutôt désagréable
- 3 Plutôt agréable
- 4 Agréable
- 5 Très agréable



Annexe 3. Biscuit de riz 100% emballé au polypropylène



Annexe 4 : Biscuit de riz 100% emballé dans de l'aluminium

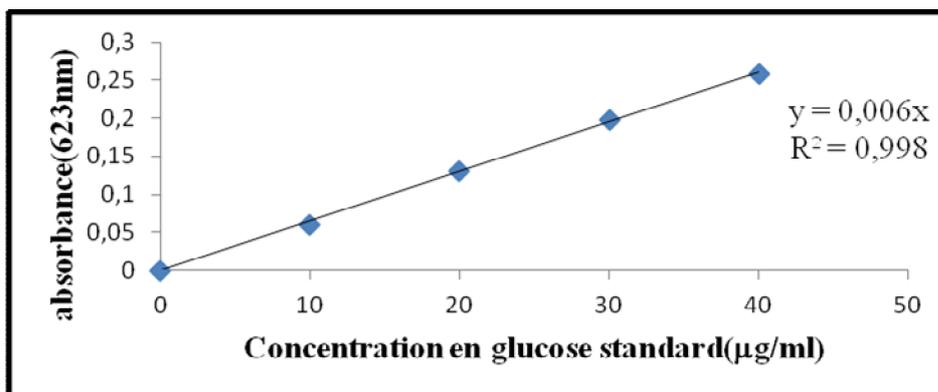


Annexe 5 : Image de la mesure de la dureté des biscuits de riz

Annexe 6. Teneur en protéines

H₂SO₄ concentré, peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), solution de NaOH 40% (400 g de pastilles de NaOH sont dissous dans une fiole de 1 l contenant de l'eau distillée. Agiter sous refroidissement dans un bain d'eau glacée, et compléter le volume à 1 l), solution d'acide borique 4 % (40 g d'acide borique sont dissous dans une fiole de 1 l contenant de l'eau distillée, y ajouter de l'eau distillée en agitant et compléter le volume à 1 l), indicateur de TASHIRO (200 g de rouge de méthyle et 100 g de bleu de méthyle sont dissous dans 150 ml d'alcool absolu).

Annexe 7. Teneur en sucres : anthrone, H₂SO₄ concentré, éthanol 80%. Pour un volume de 100 ml de solution, la solution d'anthrone se prépare comme suit pour: 0,2 g d'anthrone + 100ml d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄).



Annexe 8. Teneur en minéraux : eau désionisée, acide chlorhydrique concentré (HCl), acide nitrique (HNO₃) 70 %, acide sulfurique concentré (H₂SO₄), cristaux de chlorure de strontium (SrCl₂,

6H₂O); CaSO₄ 1000 ppm ; MgSO₄ 1000 ppm ; NaCl 10.000 ppm ; CuSO₄, FeSO₄, MnSO₄, ZnSO₄ 1000 ppm chacun ; chlorure de potassium (KCl), molybdate d'ammonium, acide ascorbique, antimoine de potassium tartrique et phosphate de potassium (KH₂PO₄).

Préparation des solutions

Solution d'aqua régia : Avec précaution, 400 ml d'acide chlorhydrique concentré et 133 ml d'acide nitrique 70 % ont été introduit dans une fiole jaugée de 2 l contenant préalablement 1, 2 l d'eau déionisée et le volume a été complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau déionisée.

Solution de chlorure de strontium: 5,75 g de SrCl₂, 6H₂O ont été pesés et dissous dans un bécher avec de l'eau déionisée puis, introduit dans une fiole jaugée de 2 l et le volume complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau déionisée.

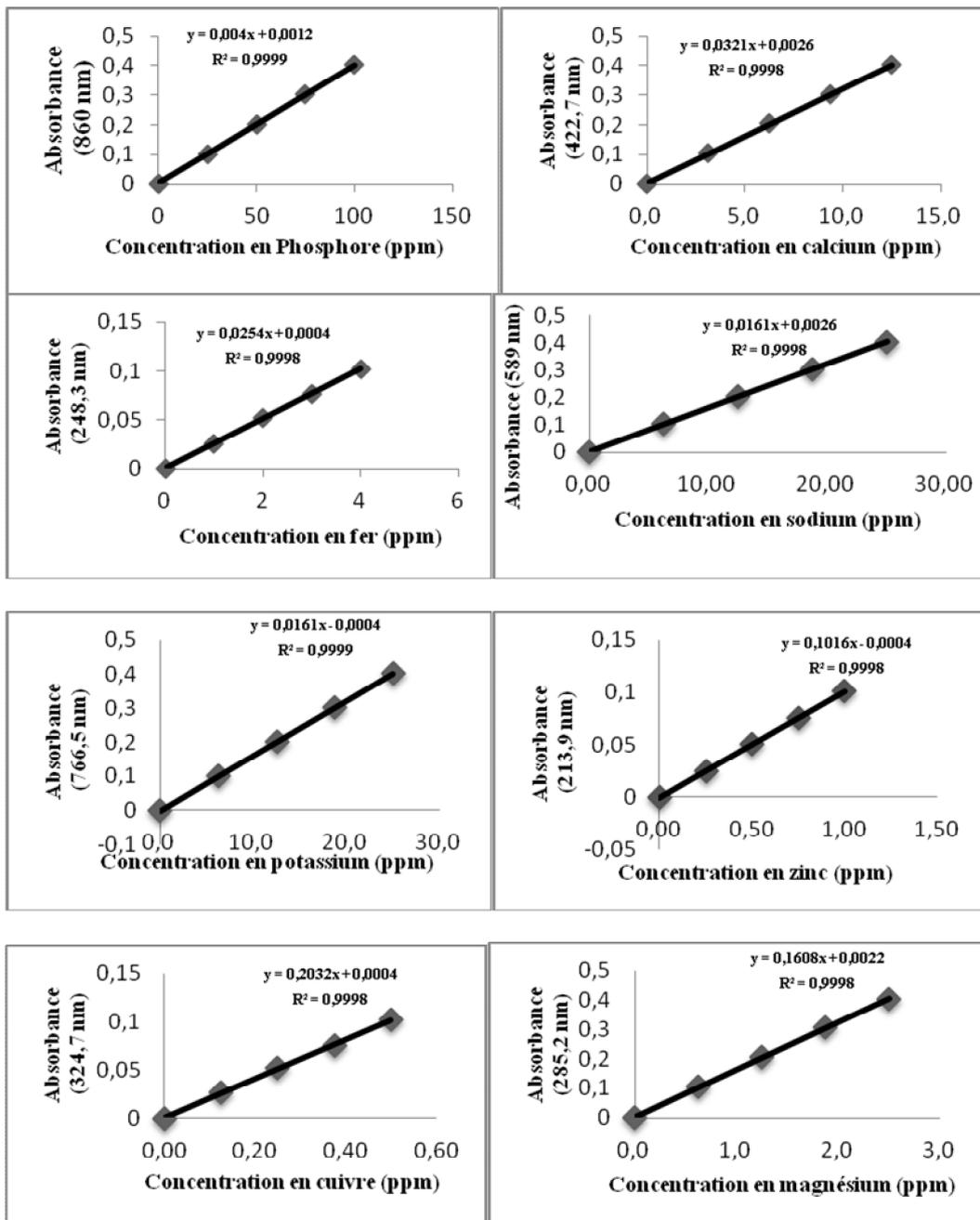
Préparation des étalons

Solutions stocks:

Calcium, magnésium, potassium, sodium: Une solution de 10.000 ppm de K a été préparée par dissolution de 1,907 g de KCl séché à l'étuve. Dans une fiole jaugée de 100 ml, ont été introduits 5 ml de K 1000 ppm, 25 ml de Ca 1000 ppm, 5 ml de Mg 1000 ppm et 5 ml de Na 10.000 ppm puis le volume complété au trait de jauge avec la solution de chlorure de strontium.

Cuivre, fer, manganèse et zinc: 1 ml de Cu 1000 ppm, 8 ml de Fe 1000 ppm, 8 ml de Mn 1000 ppm, 2 ml de Zn 1000 ppm ont été introduit dans une fiole jaugée de 100 ml et le volume complété au trait de jauge avec la solution d'aqua régia.

Droites d'étalonnage du dosage des minéraux



Annexe 9. Détermination de la teneur en vitamine C. (Harris et Ray 1935).

Extraction

Dans un mortier 5g de poudre de safou acide et non acide ont été introduit et trituré en présence d'un gramme de sable de fontainebleau et d'acide acétique 90% (5ml). 5 ml d'eau distillée ont été ajouté et décanter puis filtrer ou centrifuger à 3500 tours/min pendant 5 min. Le surnageant contenant la vitamine C a été récupéré dans une fiole.

LISTE DES ARTICLES