



**UNIVERSITÉ D'ABOMEY CALAVI**

\*\*\*\*\_\*\*\*\*

**FACULTE DE SCIENCES AGRONOMIQUES**

\*\*\*\*\_\*\*\*\*

**ECOLE DE NUTRITION ET DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
ALIMENTAIRES**

\*\*\*\*\_\*\*\*\*

**THESE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'ETUDE  
APPROFONDIE**

**Option : Nutrition et Technologie alimentaire**

**Aptitude au stockage de quelques farines  
infantiles à base de ressources  
alimentaires locales du BENIN**

**Présentée et soutenue par :**

**ADJADOGBEDJI C. Cyrille Bruce**

**Sous la supervision de:**

**Prof. A. P. Polycarpe KAYODE**

**Année 2016-2017**

## **CERTIFICATION**

Nous, Prof. Dr. Ir. A. P. Polycarpe KAYODE, certifions que le présent mémoire a été réalisé par Monsieur Cyrille C. Bruce ADJADOGBEDJI sous notre supervision dans les laboratoires de l'Ecole de Nutrition et des Sciences et Technologies Alimentaires de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi.

Superviseur

Prof. Dr. Ir. A. P. Polycarpe KAYODE

## DEDICACE

A cœur vaillant rien d'impossible.

A conscience tranquille tout est accessible.

Quand il y a la soif d'apprendre,

Tout vient à point à qui sait attendre.

Quand il y a le souci de réaliser un dessein,

Tout devient facile pour arriver à nos fins,

Malgré les obstacles qui s'opposent.

En dépit des difficultés qui s'interposent.

Je dédie ce travail

Au Très Haut et Tout puissant qui a toujours veillé sur moi.

A mon père, qui n'a jamais cessé de sacrifier ses efforts pour le succès de ses enfants. Vous avez toujours créé en moi le désir d'aller plus loin que mes limites.

A ma mère, pour ses nombreux soucis, soutiens et collaborations pour une fin heureuse de ce projet d'étude.

A ma chère épouse pour avoir accepté les nombreuses heures et nuits d'inattention à son égard.

A mes enfants sachez que le succès est au bout de l'effort je vous aime.

A mes sœurs et frères, merci de continuer à être mon compagnon pendant mes moments de malheur.

## REMERCIEMENTS

A mon maître de mémoire, le Pr Polycarpe KAYODE, qui n'a ménagé aucun effort pour encadrer efficacement le présent travail et dont la rigueur m'a inculqué les bases de la recherche scientifique. Votre méthode et votre disponibilité sans failles m'ont impressionné.

A mon collègue, assistant de recherche, Jude GOSSY votre disponibilité spontanée et collaboration exemplaire m'ont agréablement surpris. Je ne sais comment vous remercier.

Tous mes remerciements à la Fondation WOTRO pour avoir financé le projet INFLOR "Infant foods from local resources as a pathway to a better food and nutrition security in Benin" dans lequel s'inscrit ce travail.

Aux membres et Assistants de recherches du Projet INFLOR : votre collaboration m'a été utile.

A l'équipe des docteurs du laboratoire du de la Faculté des Sciences Agronomiques. Vos conseils m'ont permis de travailler dans des conditions idéales.

Au Doyen de la Faculté des Sciences agronomiques, le Pr Joseph HOUNHOUIGAN, vous avez su semer en nous le goût de la recherche appliquée, je vous remercie pour cela.

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AT	: Acidité titrable
FAO	: Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture
FSA	: Faculté des Sciences Agronomiques
GAM	: Gram aérobies mésophiles
HR	: Humidité Relative
INFLOR	: Infant Food From Local Resources as a pathway to a better food and nutrition security in Benin"
IA	: Indice d'acide gras
Ip	: Indice de peroxyde
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
UAC	: Université d'Abomey-Calavi
UFC	: Unité formant colonie
TE	: Teneur en eau

## TABLE DES MATIERES

CERTIFICATION .....	2
DEDICACE.....	3
REMERCIEMENTS.....	4
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	5
Liste des tableaux.....	9
Liste des figures.....	10
Liste des photos .....	11
Résumé .....	12
Abstract.....	13
Introduction.....	14
I. REVUE DE LITTERATURE.....	16
1.1. Définition de la farine infantile.....	16
1.2. Quelques farines infantiles rencontrées sur le marché béninois .....	16
1.3. Composition des farines infantiles .....	16
1.4. Qualité des farines infantiles .....	17
1.4.1. La qualité sanitaire .....	18
1.4.2. La qualité nutritionnelle.....	19
1.5. Formulation des farines de complément : les matières premières (ressources alimentaires locales).....	20
1.5.1. Les sources d'énergie.....	20
1.5.2. Les sources de protéines.....	20
1.5.3. Les sources d'acides gras .....	20
1.5.4. Les sources de minéraux et de vitamines .....	21
1.5.5. Les facteurs antinutritionnels .....	21
1.6. Quelques opérations technologiques d'améliorations de la qualité nutritionnelle des farines infantiles à cuire.....	22
1.8. Utilisations de la gaine de sorgho .....	25
1.9. Conditionnement et emballage des farines infantiles.....	25
1.10. Stockage et stabilité des farines .....	27
1.10.1. Facteurs affectant la vitesse de dégradation des farines en cours de stockage.....	27
1.10.2. Évolution de la farine au cours du stockage .....	28
1.11. Causes de l'altération de la qualité de la farine .....	29
1.11.1. Altérations d'ordre biochimique et chimique .....	29
1.11.2. Altérations d'origine enzymatique .....	31

1.11.3. Altérations d'origine mécanique ou physique .....	31
II. MATERIELS ET METHODES .....	33
2.1. Matériel végétal d'étude.....	33
2.1.1. Formulations retenues et critères de sélection .....	33
2.2. Production des différentes farines infantiles .....	35
2.2.1. Les formulations des farines.....	35
2.2.2- Prétraitement des matières premières.....	38
<b>2.2.3. Production des formules de farines infantiles .....</b>	<b>45</b>
2.3. Méthodologie d'étude.....	53
2.3.1. Conditionnement de la farine .....	53
2.4. Mesure de la température et de l'humidité relative du milieu de stockage .....	55
2.5. Détermination des paramètres physico- chimiques .....	56
2.5.1. Détermination de la teneur en eau .....	56
2.5.2. Détermination du pH.....	56
2.5.3. Acidité titrable .....	57
2.5.4. Détermination de la teneur en protéines .....	57
2.5.5. Détermination de la teneur en lipides.....	58
2.5.7. Détermination de l'indice d'acide .....	59
2.5.8. Détermination de l'indice de peroxyde .....	59
2.6. Méthode de Préparation des bouillies .....	60
2.8. Analyses microbiologiques .....	60
2.9. Analyses sensorielles .....	61
2.10. Analyses statistiques.....	62
III- RESULTATS ET DISCUSSION.....	63
3.1 Evolution de la température et de l'humidité relative du micro environnement au cours du stockage.....	63
3.2. Observation physique des farines en cours de stockage.....	64
3.3. Evolution de la teneur en eau au cours du stockage.....	64
3.4. Evolution de la teneur en lipides .....	66
3.5 Evolution de l'indice d'acide et de peroxyde .....	67
3.6. Evolution de la teneur en protéines au cours du stockage.....	68
3.7. Evolution du pH au cours du stockage .....	70
3.8. Evolution de l'acidité titrable .....	71
3.9. Evolution de la teneur en cendre.....	73
3.10. Mesure de l'évolution de la consistance .....	74
3.11. Evolution de la charge des levures et moisissures .....	76

3.12. Evolution de la charge de Coliformes totaux .....	77
3.13. Analyses sensorielles .....	78
CONCLUSION ET SUGGESTIONS .....	81
Références bibliographiques .....	82
ANNEXES.....	85

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Composition en macronutriments pour 100 g de farine infantile selon les normes du Codex Alimentarius .....	17
<b>Tableau 2:</b> Normes microbiologiques applicables aux farines infantiles (Log UFC/g).....	19
Tableau 3: Les facteurs antinutritionnels par classe chimique .....	21
<b>Tableau 4:</b> Les types d'emballage utilisé dans le conditionnement des farines infantiles .....	26
Tableau 5: Caractéristiques des différentes formulations .....	34
<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Tableau 6 : Récapitulatif des différences de formulation entre farines.....	35
Tableau 7: Constituants et composition théorique de la formulation de la farine GPO .....	36
Tableau 8: Constituant et composition théorique de la formulation de la farine INFLOR 2 ...	36
Tableau 9: Constituants et composition théorique de la formulation de la farine INFLOR 4 .	37
Tableau 10: Constituants et composition théorique de la formulation de farine INFLOR 6 ...	37
Tableau 11: Constituants et composition théorique de la formulation de farine INFLOR 8 .	38
Tableau 12 : Variation de la teneur en lipides des farines formulées au cours du stockage ....	69
Tableau 13 : Variation de la teneur en protéines des farines formulées au cours du stockage	69
Tableau 14 : Variation du pH des farines formulées au cours du stockage .....	70
Tableau 15 : Evolution de l'acidité titrable des farines formulées au cours du stockage .....	71
Tableau 16 : Variation de la teneur en cendre des farines formulées au cours du stockage ...	73
Tableau 17 : Nombre des dégustateurs ayant constatées une différence par comparaison des farines stockées T4 et T6 à T0 .....	78
Tableau 18 : Evolution du pourcentage de dégustateurs ayant jugé les farines acceptables (%) .....	79

## Liste des figures

Figure 1 : Schéma représentatif de la notion de farines infantiles .....	18
Figure 2: Diagramme technologique de production de Farine et Malte de Mais /sorgho .....	39
Figure 3: Diagramme technologique de production du soja et de l'arachide torréfié .....	40
Figure 4: Diagramme technologique de production de la poudre de poisson et de la pulpe de baobab tamisée .....	41
Figure 5: Diagramme technologique de production de la poudre de Grande Morelle .....	41
Figure 6: Diagramme technologique d'obtention de la Poudre de Néré .....	43
Figure 7 : Diagramme technologique d'obtention d'infusion de gaine de sorgho .....	44
Figure 8 : Diagramme de production de la farine GPO.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 9: Diagramme de production de la farine GPO+ .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 10: Diagramme de production de la farine INFLOR 2 .....	48
Figure 11: Diagramme de production de la farine INFLOR2+ .....	49
Figure 12: Diagramme de production de la farine INFLOR4 .....	50
Figure 13: Diagramme de production de la farine INFLOR6 .....	51
Figure 14: Diagramme de production de la farine INFLOR8 .....	52
Figure 15: Courbe de variation de la température du milieu de stockage des farines formulées.....	62
Figure 16: Courbe de variation de l'humidité relative du milieu de stockage des farines formulées .....	63
Figure 17: Evolution des teneurs en eau des farines formulées au cours du stockage .....	65
Figure 18 : Evolution de l'indice d'acide des farines formulées au cours du stockage .....	68
Figure 19 : Evolution de l'indice de peroxydes des farines formulées au cours du stockage .	68
Figure 20 : Courbe d'évolution de la teneur en protéines au cours du stockage .....	70
Figure 21 : Courbe d'évolution du pH des farines formulées au cours du stockage .....	71
Figure 22 : courbe d'évolution du l'acidité titrable .....	72
Figure 23 : Courbe d'évolution de la teneur en cendre des farines formulées .....	74
Figure 24 : Courbe d'évolution de consistance des bouillies des farines en cours de stockage .....	75
Figure 25 : Diagramme d'évolution de la charge de levures moisissures en cours de stockage .....	76
Figure 26 : Evolution de la charge des coliformes totaux en cours de stockage .....	77

## Liste des photos

Photo 1: Mais malté.....	37
Photo 2 : Sorgho malté .....	38
Photo 3 : Arachide torréfiée et dépelliculée.....	39
Photo 4 : Farine de soja torréfié et dépelliculé.....	39
Photo 5 : Poudre de Grande Morelle.....	41
Photo 6: Pulpe de Néré.....	42
Photo 7 : Processus de production de l'infusion de gaine de sorgho .....	45
Photo 8: Farines après production et refroidissement .....	53
Photo 9: Dispositif de scellage des farines .....	54
Photo 10 : Type de conditionnement pour les farines au cours de l'étude .....	54
Photo 11 : Modèle de seau servant de réservoir de stockage des farines conditionnées .....	55
Photo 12 : Image montrant le dispositif de mesure de la température et d'humidité relative du milieu de stockage des échantillons de farines .....	55

## Résumé

Les farines infantiles sont des aliments donnés aux enfants en complément ou en substitution du lait maternel. Les travaux précédents menés dans le cadre du projet INFLOOR ont permis de formuler de nombreuses farines infantiles à haute valeur nutritionnelle à bases de ressources alimentaires locales du Bénin. La présente étude a permis d'évaluer l'aptitude à la conservation de 5 formules de farines infantiles. L'étude a également évalué l'effet de l'incorporation de l'infusion de la gaine de sorgho colorant dans la farine sur la durée de conservation de 2 formulations. Les résultats montrent qu'au cours du stockage les 7 farines étudiées subissent des variations à la hausse en ce qui concerne leurs taux d'humidité, de lipides, d'acide lactique, d'indice d'acide, d'indice de peroxydes, et une baisse du pH et du pouvoir de gonflement. Du point de vue microbiologique, une augmentation de la charge de levures et moisissures puis des Coliformes totaux a été observée au bout de 6 mois de stockage. L'incorporation de l'infusion de gaine de sorgho dans certaines formulations a influencé la modification de certains paramètres au cours du stockage. Globalement, après 6 mois de stockage les compositions physico-chimiques et microbiologiques de toutes les farines restent encore conformes à la norme à l'exception de la charge en levures et moisissures qui est de  $3,2 \cdot 10^3$  contre  $< 10^3$  selon la norme. L'acceptabilité globale des farines a diminué entre le 4<sup>e</sup> et le 6<sup>e</sup> mois de stockage, en l'occurrence, des écarts significatifs ont été notés au niveau du goût, de l'acidité, de l'odeur. Cependant, toutes les farines restent acceptables pour plus de 50% des dégustateurs à 6 mois de stockage.

En conclusion, après 6 mois de stockage on note une baisse de la qualité des sept farines à des degrés variables en fonction de la formulation mais aucune des farines n'a atteint la limite de l'inacceptable.

## **Abstract**

Infant flours are foods given to children in addition to or in substitution to breast milk. Previous works on the INFLOR project have resulted in the formulation of many highly nutritious infant flours based on local food resources of Bénin . The present study evaluated the shelf life of 5 flours formulations and then tested the effect of using sorghum sheath infusion on the shelf life of the formulations.

The results show that during storage, all seven flours present a varying degree of moisture, lipids, lactic acid, free fatty acid index, peroxide index, pH and viscosity. From the microbiological point of view, an increase in the load of yeasts, molds and total coliforms was observed after 6 months of storage. The overall acceptability of the flours decreased between the 4th and 6th month of storage, in this case significant differences were noted in taste, acidity, odor and rancidity. Overall, after 6 months of storage, the physicochemical and microbiological compositions of all the flours still respect with the standard, with the exception of the charge of yeasts and molds. Similarly, from an overall acceptability point of view, all flours remain acceptable to more than 50% of the tasters after 6 months of storage.

It emerged that after 6 months of storage, the 7 flours slightly aged to varying degrees depending on the formulation but none of the flours reached the limit of the unacceptable. The incorporation of sorghum sheath infusion in some formulations influenced the dynamics of variation of water content, lipids during storage.

## Introduction

Le lait maternel est considéré comme le meilleur aliment du nouveau-né. Ainsi, l'Organisation Mondiale de la Santé recommande aux mères de nourrir leurs enfants exclusivement au sein jusqu'à 6 mois et de poursuivre l'allaitement, autant que possible jusqu'à deux ans, tout en introduisant peu à peu d'autres aliments y compris ceux du plat familial. Durant cette période dite de "sevrage", l'enfant a besoin d'une nourriture lui fournissant suffisamment d'énergie, de protéines et d'autres matières nutritives comme des vitamines, des minéraux et des oligo-éléments.

En Afrique, les bouillies ont une place importante dans la nutrition infantile. C'est le mode alimentaire habituellement utilisé pour compléter l'allaitement maternel et le sevrage progressif avant l'introduction du plat familial.

La préparation des bouillies infantiles en Afrique se fait soit à partir de farines composites mises sur le marché par des entreprises, soit avec des farines de céréales réalisées en ménage par les mères elles-mêmes à partir de quelques ingrédients disponibles dans leur milieu ou par l'achat direct sur le marché local de bouillies répondant aux habitudes alimentaires.

Depuis quelques dizaines d'années, les programmes de lutte contre la malnutrition infantile ont mis au point et vulgarisé des recettes de farines infantiles enrichies dont la qualité nutritionnelle est améliorée par un meilleur équilibre entre sucres, protéines, lipides, vitamines et minéraux. Des travaux de recherche sur l'élaboration et l'évaluation de la qualité d'une farine infantile de complément à haute densité nutritionnelle à partir de ressources alimentaires locales sont également effectués (Gossy, 2016). Les avantages théoriques des technologies d'extrusion (Trèche et al, 1994), de la fermentation (Gossy, 2016) sur la qualité nutritionnelle et organoleptique des formulations de farine infantile multi ingrédients ont été démontrés.

Cependant, beaucoup de farines infantiles béninoises peinent à émerger sur le marché national, essentiellement à cause de leurs faiblesses à satisfaire les attentes des consommateurs (Ahouandjinou, 2007). Des farines infantiles enrichies sont formulées dans le cadre des programmes ou projets de recherche. Tout comme la plupart des aliments, ces farines sont des produits périssables donc disposent d'une durée de vie au cours de laquelle leur composition nutritionnelle, et leur qualité restent stables, acceptables ou conformes à la norme lorsqu'elles sont stockées dans les conditions bien définies.

La présente étude vise à déterminer les aptitudes au stockage de quelques formulations de farines infantiles formulées à base d'ingrédients locaux et d'établir les conditions optimales de leur stockage.. De manière plus spécifique, ce travail de recherche se propose de :

- Evaluer l'effet de la conservation sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des farines formulées ;
- Déterminer l'effet de la conservation sur les caractéristiques sensorielles des farines formulées ;
- Evaluer l'influence de l'incorporation d'une infusion de gaine foliaire de sorgho colorant en tant qu'additif naturel sur les caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles des farines formulées.

## **I. REVUE DE LITTERATURE**

### **1.1. Définition de la farine infantile**

Diversement connus dans la littérature sous l'appellation de « farine de complément », « farine de sevrage » ou « céréale infantile », la farine infantile est généralement un aliment de complément présenté sous forme de farine que l'on donne après cuisson humide ou non sous forme de bouillie aux jeunes enfants à partir de l'âge de six mois en complément du lait maternel. Elle doit être spécialement conçue pour couvrir leurs besoins nutritionnels en tenant compte des apports du lait maternel et de la fréquence journalière des repas (Mouquet et al 1998).

La farine infantile fait partie du groupe générique des aliments de compléments. Le terme aliment de complément désigne tout apport alimentaire autre que le lait maternel donné aux nourrissons ou aux jeunes enfants, en vue de satisfaire pleinement leurs besoins nutritionnels (Bruyeron et al ; 1998).

Selon la technologie de production et le mode de préparation deux (02) types de farines infantiles se rencontrent sur le marché à savoir « les farines à cuire » et « les farines instantanées ». Ces farines correspondent à des technologies de transformation différentes. Les farines à cuire s'obtiennent généralement par des procédés ne modifiant pas de façon importante leurs principaux constituants (torréfaction, grillage, broyage et mélange de différentes matières premières). Par contre, la production de farines instantanées fait appel à des procédés souvent plus complexes : cuisson au four (type biscuit), séchage sur rouleau, cuisson-extrusion. (Treche, 1992).

### **1.2. Quelques farines infantiles rencontrées sur le marché béninois**

De nombreuses farines infantiles sont disponibles sur le marché béninois et sont fortement sollicitées pour l'alimentation des enfants. On peut citer les marques importées que sont Cérélac, Blédina, Célia, Nutrilac, Vie vital, etc. D'autres farines sont fabriquées sur le territoire béninois et dont les plus présents sont Beau bébé, Pépite d'or, Céréso, Médivit, Farinet, Mickelange etc. (Nago, 2012).

### **1.3. Composition des farines infantiles**

De nombreux facteurs interviennent sur la composition finale des farines infantiles et sont difficilement maîtrisables. Les composantes constitutives d'une farine sont : l'amidon, l'eau, les protéines, les matières grasses, les sucres, les matières minérales, les matières cellulosiques, les vitamines B, PP, E, les enzymes alpha et bêta amylase, etc. (Guerreiro,

1982). Le Codex Alimentarius (CODEX CAC/GL 08. 1991) recommande qu'une farine infantile ait une composition en nutriments proche de celle indiquée ci-dessous :

**Tableau 1:** Composition en macronutriments pour 100 g de farine infantile selon les normes du Codex Alimentarius

Nutriments	Quantité
<b>Energie</b>	400 Kcal
<b>Protéines</b>	15 g
<b>Lipides</b>	10-25 g
<b>Fibres</b>	Fibres < 5 g

**Source :** CODEX CAC/GL 08. 1991, 2010

Il est souhaitable que la teneur en eau ne dépasse pas une valeur de 12 %, si l'on veut éviter une altération microbienne rapide. Lorsque le taux d'humidité dépasse 12 %, les conditions sont propices à l'apparition de moisissures. Une teneur en eau trop faible donne une farine très poussiéreuse et poser des problèmes tels que le colmatage, le tassage, le passage à travers les sacs d'emballage (Salem, 2008).

Les lipides jouent un rôle important au cours de la conservation et de l'utilisation des farines: Au cours du stockage, les lipases présentes dans la farine entraînent la libération de certains acides gras qui participent à une amélioration des propriétés (Salem, 2008).

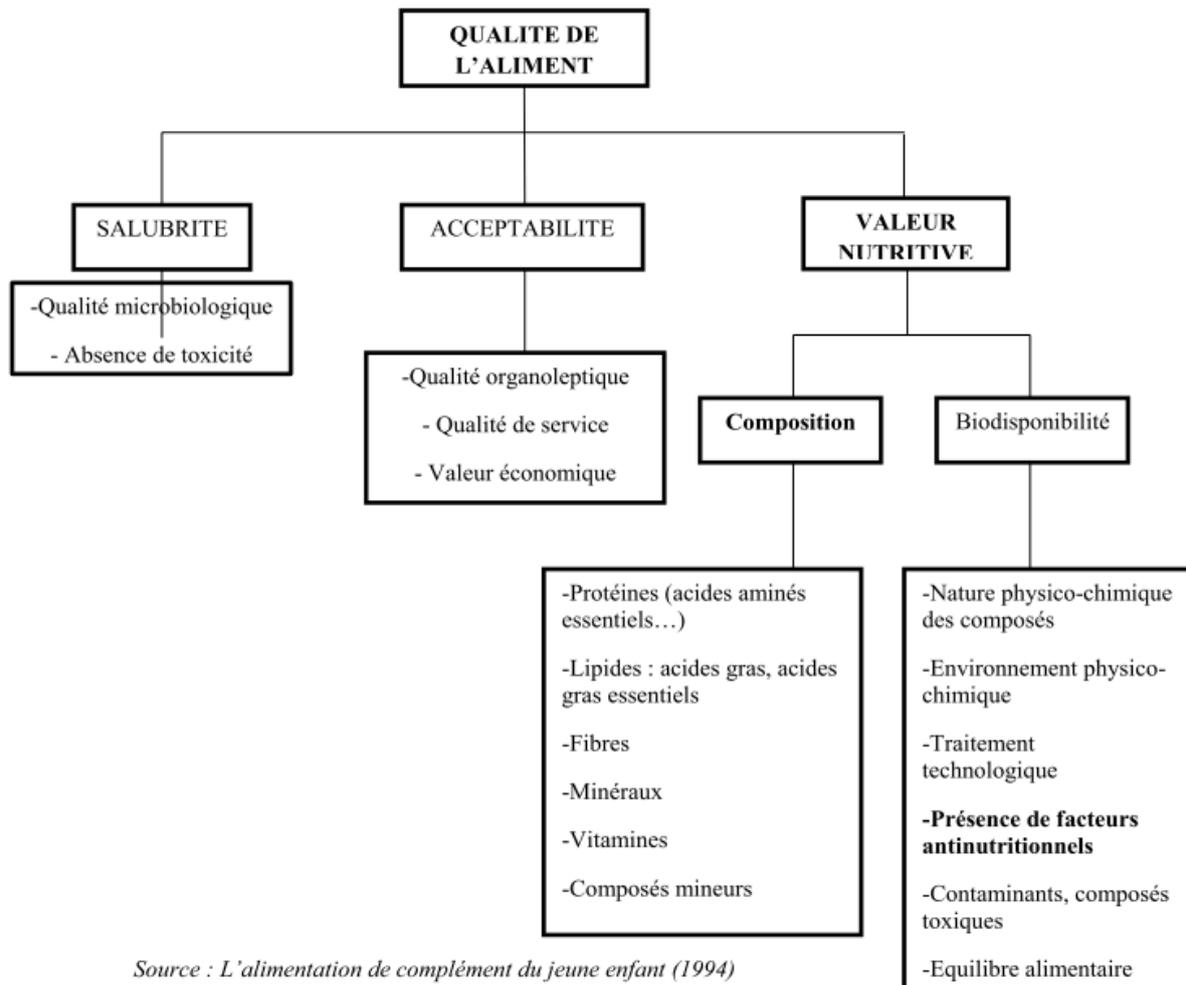
Une teneur en matière grasse trop élevée (> 15%) peut provoquer un échauffement à l'entreposage, nuisant ainsi à la qualité finale de la farine. Un taux important en matière grasse a donc un effet sur la conservation en favorisant un rancissement précoce (formation de peroxyde).

#### **1.4. Qualité des farines infantiles**

En ce qui concerne les farines infantiles, le mot qualité regroupe plusieurs dimensions parmi lesquelles on peut citer la qualité sanitaire (microbiologique), la qualité nutritionnelle, la qualité physique, la qualité sensorielle (un ensemble de composante qui influence l'acceptabilité et les fonctions nutritionnelles de la farine infantile).

La qualité des farines infantiles dépend des ingrédients utilisés, de la technologie adoptée et du soin apporté à chacune des étapes de la fabrication du produit. Les conditions d'hygiène en particulier sont fondamentales (Sanogo, 1994).

Andreas en 1994 dans l'Alimentation du jeune enfant résume schématiquement la notion de qualité des farines infantiles comme suit :



**Figure 1:** Schéma représentatif de la notion de farines infantiles

#### 1.4.1. La qualité sanitaire

Une farine infantile doit être salubre, elle ne doit contenir de germes pathogènes, de toxines ou de résidus chimiques toxiques susceptibles d'avoir une répercussion sur la santé du nourrisson ; notamment, elle ne doit pas être à l'origine de diarrhées (Mouquet et al., 1998).

Selon la norme du Codex Alimentarius (Codex Stan 74-1981), les farines infantiles doivent être préparées, emballées et conservées dans des conditions compatibles avec l'hygiène. Elles devraient respecter les dispositions du «Code d'usages en matière d'hygiène pour les aliments pour nourrissons et enfants à bas âge» (CODEX CAC/RCP 21, 1979). Cette référence donne des spécifications microbiologiques à caractère consultatif, différentes selon le type de farines infantile (à cuire ou instantanées). Dans la pratique, les spécifications proposées par le Gret et l'Orstom se présentent dans le tableau 2.

**Tableau 2:** Normes microbiologiques applicables aux farines infantiles (Log UFC/g )

Paramètres	Farines à cuire	Farines instantanées
Bactéries aérobies mésophiles	< 10 <sup>4</sup>	< 10 <sup>4</sup>
Coliformes fécaux	< 100	< 20
<i>Escherichia coli</i>	<10	< 2
Levures et moisissures	< 10 <sup>3</sup>	non précisé

**Source :** Mouquet et al. (1998).

Il faut également veiller à ce qu'il n'y ait ni salmonelles, ni aflatoxines dans le produit.

Considérant ces seuils d'innocuité on constate que les farines infantiles à cuire industrielles ou semi industrielles fabriquées au Bénin sont généralement de bonne qualité sanitaire ce qui n'est souvent pas le cas pour les farines infantiles produites en ménage (FAO, 2006/2008, Egounlety et al., 2002 ; Mitchikpè et al., 2007).

#### 1.4.2 La qualité nutritionnelle

Une farine infantile doit avoir une valeur nutritionnelle adéquate. Sa composition et ses caractéristiques doivent être telles que les quantités de bouillie ingérées par les enfants, leur fournissent suffisamment d'énergie et de nutriments indispensables pour couvrir leurs besoins nutritionnels en complément du lait maternel. La composition nutritionnelle standard pour 100 g d'aliment de sevrage se présente comme suit (Nago, 2012):

- Glucides 68 %
- Protéines  $\geq$ 13 %
- Matières grasses  $\geq$ 7%
- Fibres  $\leq$  5%
- Cendres 2%
- Eau 5%
- Energie 400 calories

La densité énergétique de la bouillie après préparation doit être de 1 kcal/ml (Trèche., 1992).

Les enquêtes sur l'état nutritionnel et les pratiques de sevrage au Congo (Cornu et al., 1987 ; 1993 ; Trèche et al.,1990) ont montré que certaines pratiques, en particulier la précocité d'introduction et la mauvaise qualité nutritionnelle des aliments de complément, sont parmi les principaux déterminants de l'état nutritionnel des enfants pendant la période de sevrage.

La fabrication de farines infantiles permettant la préparation de bouillies de densité énergétique susceptible de satisfaire aux besoins en énergie de l'enfant, nécessite la mise en œuvre de technologies réduisant la viscosité des bouillies telles que l'addition d'enzymes amylolytiques, le maltage d'une fraction des matières premières, la cuisson-extrusion, etc.

Afin d'étudier l'efficacité de ces traitements technologiques, l'évaluation de la consistance est nécessaire. Le paramètre le plus souvent mesuré est la viscosité

## **1.5. Formulation des farines de complément : les matières premières (ressources alimentaires locales)**

### **1.5.1. Les sources d'énergie**

La principale source d'énergie est constituée uniquement de céréales locales. Elles contiennent 7 à 14 % de protéines, jusqu'à 75 % de glucides. Les céréales les plus consommées dans les pays de l'Afrique de l'Ouest sont le maïs, le sorgho, le mil, le riz et le blé (Hounhouigan, 2003). Le riz est utilisé en association avec d'autres céréales. La deuxième source d'énergie est constituée des racines et tubercules. Dans les pays tropicaux, les plus courants sont le manioc, la patate douce, le taro, l'igname (Cameron, 1983). Leur teneur en amidon est élevée et leur teneur en eau explique ce pourquoi les autres éléments nutritifs sont moins concentrés. Le manioc est moins utilisé pour la formulation de farines infantiles.

### **1.5.2. Les sources de protéines**

Elles sont soit d'origine végétale (légumineuses) ou soit d'origine animale. La teneur en protéines de la plupart des légumineuses sèches varient entre 20 et 25% contre 40 % pour le soja. Bien que ces protéines soient dites de qualité moyenne, elles sont utilisées comme supplément des autres protéines alimentaires, notamment celles des céréales. Les légumineuses doivent cependant être préparées de façon soignée à cause des facteurs antinutritionnels qu'elles contiennent. Le soja par exemple est riche en facteurs antitrypsique, en phytates. Les études de Trèche (1992) ont révélé que les formulations observées dans la plupart des pays africains utilisent le soja et des associations avec l'arachide, le niébé ou le haricot. Les aliments d'origine animale utilisés sont, le plus souvent : le lait, la viande, le poisson et les œufs.

### **1.5.3. Les sources d'acides gras**

Les sources végétales de lipides généralement utilisée sont : les graines de soja, d'arachide, de sésame, de coton, les noix de coco et de palme (Latham, 2001). Excepté l'huile de palme, ses huiles ont l'inconvénient de ne contenir que la vitamine E. Mais cette dernière, en sa qualité d'antioxydant, permet de ralentir le phénomène de rancissement (Cameron, 1983). Ces sources végétales de lipides contiennent très peu d'acides gras saturés et la plupart sont riches en acides gras essentiels. L'huile de palme est également riche en vitamine A.

#### 1.5.4. Les sources de minéraux et de vitamines

Les légumes constituent une source importante de minéraux (surtout de calcium et de fer) et de vitamines, particulièrement les vitamines A et C et l'acide folique (Cameron, 1986). Les fruits sont une source excellente de vitamine C (agrumes). Ils peuvent également être utilisés comme source de minéraux, notamment le pain de singe (fruit du baobab) qui est riche en fer. L'amarante est à la fois riche en vitamine A et en fer. Dans la plupart des régimes alimentaires des régions tropicales, les sources habituelles de vitamine A sont les légumes à feuilles vertes dont le *Moringa oleifera*, le maïs jaune (Nago M., 2012)

#### 1.5.5. Les facteurs antinutritionnels

La plupart des matières premières entrant dans la composition des aliments de complément, notamment d'origine végétale et surtout les graines de légumineuses sont susceptibles d'apporter des composés indésirables, ou des facteurs antinutritionnels (Besançon, 1994). Les légumineuses sont riches en inhibiteurs de protéase, en lectines, en sucres responsables de flatulence, en agents liants des métaux. Certaines céréales telles que le sorgho et le mil contiennent des quantités importantes de polyphénols et de tannins. Les effets antinutritionnels et toxiques de ces composés sont connus. Les tannins forment par exemple des complexes avec les protéines ; les phytates forment des complexes avec les minéraux divalents tels que le fer, le zinc, le calcium réduisant ainsi leur disponibilité. Les facteurs antinutritionnels appartiennent à des classes chimiques très variées et leurs effets sont extrêmement variés (Tableau 3).

**Tableau 3:** Les facteurs antinutritionnels par classe chimique

Classe chimique	Facteurs anti-nutritionnelles
Composés de nature azotée ou protéiques	Inhibiteurs d'enzymes : amylases, protéases, lipases Lectines, hémagglutinines Acides aminés ou dérivés : mimosine, L-DOPA, selenoaminoacides, lysinoalamine Acides aminés iatrogènes Produits de la réaction de Maillard

Glucides	Alpha-galactosides Bêta- glucanes Xylose
Lipides	Acides gras cycliques oxydés Acides éruciques
Phytate	Acide phytique et sels d'acide phytique
Composés de nature phénolique	Acide chlorogénique Flavonoïdes Gossypol Polyphénols, tanins
Glycosides, Hétérosides	Facteurs cyanogènes Facteurs favogènes: vicine Facteurs goitrogènes: glucosinolates Glycosides stéroïdiques et triterpenoidiques: saponines Phytoestrogènes
Alcaloïdes	Caféine, nicotine
Mycotoxines	Aflatoxine, fumonisine

Source : L'Alimentation de complément du jeune enfant (1994)

## 1.6. Quelques opérations technologiques d'améliorations de la qualité nutritionnelle des farines infantiles à cuire

### La torréfaction ou grillage

Le grillage permet d'abaisser la teneur en eau de la matière première, de diminuer les problèmes de rancissement liés à la présence de lipases (enzymes agissant sur les lipides), et d'éliminer la plupart des germes pathogènes. Le soja, dont l'emploi est recommandé du fait de sa haute teneur en protéines, doit être utilisé en prenant certaines précautions. Sa torréfaction est indispensable pour éliminer les facteurs antinutritionnels qu'il contient.

## **Dépelliculage**

Le dépelliculage peut être réalisé en concassant les graines à l'aide d'un broyeur à meules puis en le vannant. Ceci permet d'éliminer la pellicule trop riche en fibres. Un trempage préalable des graines, suivi d'un séchage, est parfois nécessaire pour désolidariser les enveloppes de la graine.

## **Fermentation**

La fermentation est une des plus anciennes techniques de transformation et de conservation des aliments. La fermentation est un procédé technologique utilisé en Afrique pour la fabrication de nombreux types d'aliments fermentés (Lestienne, 2004). Des fermentations spontanées se produisent fréquemment sur les produits humides (farines, semoules, couscous, bouillies, pâtes) dès qu'ils sont laissés de quelques heures à plusieurs jours à température ambiante. Pour les produits amylacés, il s'agit généralement de la fermentation lactique qui fait naître un goût aigre accompagné d'arômes particuliers souvent appréciés et recherchés. Cette transformation s'effectue grâce à des micro-organismes naturellement présents dans l'aliment, ou ajoutés. D'un point de vue biochimique, on observe des modifications de taux de vitamines du groupe B variables selon les microorganismes en présence (Favier, 1989). C'est une méthode permettant d'améliorer la valeur nutritive, la saveur et la digestibilité des aliments. La fermentation lactique ou lactofermentation est celle qui est la plus intéressante sur le plan nutritionnel. Elle présente de nombreux avantages parmi lesquels : la réduction du risque de développement de microorganismes pathogènes par acidification du milieu, la dégradation de certains facteurs antinutritionnels (phytates,  $\alpha$ -galactosides), le développement de qualités organoleptiques spécifiques par synthèse d'acides organiques et arômes (Nout, 1994 ; Nout et Sarkar, 1999). Elle diminue également la viscosité des bouillies de faible ou moyenne concentration en matière sèche. Cependant, aucune étude n'a démontré la possibilité d'obtenir par simple fermentation des bouillies de densité énergétique supérieure à 100 Kcal/100 ml (Svanberg et al. 1992 ; Lorri et Svanberg, 1994).

## **Germination/maltage des céréales**

Une autre technique permettant l'obtention de bouillies de faible viscosité et de bonne valeur calorique est la germination des graines de céréales. La germination est l'étape déterminante du maltage. Au cours de cette étape, on observe la synthèse de nombreuses substances telles que les enzymes ( $\alpha$  et  $\beta$  amylase), les vitamines, le glucoside cyanogénique, et beaucoup d'autres composés vecteurs de saveurs. La technique est simple : on laisse tremper les graines

pendant un jour ou deux puis on les laisse germer durant 24 à 48 heures à température ambiante. Le séchage s'opère en air chaud à 65°C. Après avoir été débarrassées des radicules, les graines sont moulues. La germination transforme en partie les protéines et l'amidon contenus dans les grains en acides aminés libres et en dissacharides directement assimilables par la plantule et donc par l'homme. Cette hydrolyse est le résultat de l'action d'alpha-amylases et de bêta-amylases qui atteignent un taux maximum après 48 heures de germination (Dillon, 1989).

### **Les Avantages de la germination sur la qualité des farines infantile**

1. La réduction de viscosité permet à l'enfant de prendre plus de calories à chaque repas; ainsi pour apporter à un enfant de 1 an 60% de ses besoins énergétiques (soit 720 Kcal) sous la forme d'une bouillie de sorgho de consistance appropriée, il faut lui donner 2,5 l de bouillie par jour (à raison de 8 g de farine pour 100 ml). Par contre, si la farine est germée, il ne devra plus ingérer que 800 ml (on passe à 25 g pour 100 ml);
2. Etant en partie pré-hydrolysée, cette bouillie sera bien mieux digérée;
3. Pour enrichir la bouillie en protéines, il est facile d'associer une farine de légumineuse elle-même germée dans la proportion 70/30% et ainsi on obtient un aliment de sevrage composé avec une bonne teneur en protéines
4. Le maltage améliore la texture et la qualité nutritionnelle des bouilles (Abiodun et *al.* 2002). La germination augmente la biodisponibilité en certains acides aminés comme la lysine et le tryptophane et en vitamines tels l'acide ascorbique, la niacine et la riboflavine;(van Heerden, Taylor et Glennie, 1987)
5. La germination ne pose aucun problème sur le plan bactériologique ou toxicologique, puisque, à la différence de la fermentation, on ne fait pas appel à des bactéries exogènes;
6. Au plan économique enfin, la germination est un procédé bon marché, permettant aux mères les plus démunies, n'ayant pas accès aux aliments de sevrage industriels inabordables, d'avoir à disposition un aliment complémentaire du lait maternel peu coûteux.

### **Quelques contraintes liées à la germination**

Toutefois, force est de reconnaître que la germination des céréales exige beaucoup de travail de la part de la ménagère. Sans être compliquées, les opérations sont longues. Et surtout elles nécessitent un matériel approprié pour faire tremper, germer sécher et moulin ces graines; matériel qui n'est pas toujours disponible dans les villages. La germination des céréales si elle

n'est pas bien contrôlée peut engendrer l'apparition du goût amer et le risque d'augmentation du taux de moisissures sur le produit fini

### **1.8. Utilisations de la gaine de sorgho**

Le sorgho est une source riche en divers composés photochimiques comme les tannins, les acides phénoliques, les anthocyanines, les phytostérols et les polycosanols. Ces composés bioactifs ont des potentialités de combattre des maladies humaines d'origine nutritionnelle telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et l'obésité (Awika & Rooney, 2004). Le pigment rouge contenu dans la gaine de sorgho, qui aurait des propriétés antimicrobiennes et antifongiques, sert aussi de remède à l'anémie en médecine traditionnelle (Brink & Belay, 2006). Le pigment rouge des gaines foliaires de sorgho est composé de substances anthocyaniques, particulièrement riches (95%) en un chlorure stable, l'apigéninidine (3-désoxyanthocyanidine), et en tanins du groupe condensé des proanthocyanidines. Le pigment rouge de la gaine foliaire du sorgho fait plus de 20% du poids sec (Brink & Belay, 2006). Dans les grains de sorgho rouge on a isolé les pigments suivants : apigénine, quercimétrine, glucosides de kaempférol, glucosides d'apigénidine, apigéninidine, lutéolinidine et 7-O-méthyl-lutéoline-glucoside. Les composants du colorant rouge isolé de la tige des cultivars de sorgho rouge sont une anthocyanidine : l'apigéninidine (17%) et des flavonoïdes : la lutéoline (9%) et l'apigénine (4%). La propriété attribuée au pigment rouge de guérir l'anémie a été confirmée dans des essais sur les rats.

<http://www.prota4u.org/protav8.asp?fr=1&p=Sorghum+bicolor+%28L.%29+Moench>).

### **1.9. Conditionnement et emballage des farines infantiles**

Si les aspects liés à la formulation et à la technologie de production des farines infantiles sont très importants pour la qualité de la farine élaborée, son conditionnement et les conditions de son stockage sont importants pour la préservation de cette qualité. Le conditionnement est à la fois considéré comme la dernière étape de la fabrication du produit et la première de sa commercialisation.

Dans le dossier d'information pour les PME d'Afrique sur la transformation agroalimentaire réalisé par CTA et FAO en 1992, les farines infantiles se conservent six à douze mois suivant leurs emballages.

Le conditionnement d'une farine infantile offre de multiples possibilités : sachets en polyéthylène ou polypropylène, sachets complexes plastiques/aluminium (type Doypack), emballages combinés sachet plastique et paquet carton, boîtes plastiques, boîtes métalliques.

Le Tableau 4 ci-dessous présente les différents emballages ainsi que leur avantage et inconvénients.

**Tableau 4:** Les types d'emballage utilisés dans le conditionnement des farines infantiles

Type d'emballage*	Durée de conservation	Avantages principaux	Inconvénients principaux
PE (Polyéthylène.) (double-sachet épaisseur requise : 80 à 100 µm par sachet)	4 à 6 mois	- Faible coût - Fréquemment disponible	- Présentation moyenne du produit. - Durée de conservation faible (passage des graisses, rancissement, moisissure). - Problème d'adhésion de l'impression. - Perméabilité aux odeurs qui attirent les rongeurs.
PP (Polypropylène (épaisseur requise : 100µm))	4 à 6 mois	Faible coût	- Présentation moyenne du produit. - Durée de conservation faible (passage des graisses, rancissement, moisissure). - Problème d'adhésion de l'impression. - Perméabilité aux odeurs qui attirent les rongeurs.
BOPP20/PE20/A17/PE30 Polypropylène bi-orienté,	1 an	- Bonne présentation - Bonne tenue de	- Peu fréquemment disponible localement. - Coût élevé.
BOPP30/A17/PE60	1 an	- l'impression	- Non réutilisable par les mères.
PET12/PE25/A17/PE30 Polytéréphtalate d'éthylène glycol	1 an	- Bonne conservation -Imperméable aux odeurs	
PET20/A17/PE50 (Polychlorure de vinyle.)	1 an		
Carton	Pas de propriétés barrière par rapport à l'air ou à l'eau.		
Sachet + Carton	Variable selon la nature du sachet	- Bonne présentation - Refermable après première utilisation. - Coût intermédiaire.	- Fragilité du carton vis-à-vis de l'eau
Boîte métallique 1 an	1 an	- Très bonne présentation (mais variable selon la nature de	- Coût très élevé. -Problèmes d'approvisionnement.

		l'emballage et l'impression). - Très bonne conservation. - Réutilisable par les clients.	
Boîte en PVC (200[m])	1 an (variable selon la perméabilité du couvercle)	- Bonne présentation. - Refermable après 1 ère utilisation. - Bonne conservation. - Réutilisable par les clients.	- Coût souvent élevé. - Problèmes d'approvisionnement.

**Source** : FAO, 1992

## 1.10. Stockage et stabilité des farines

### 1.10.1. Facteurs affectant la vitesse de dégradation des farines en cours de stockage

La conservation des farines dépend essentiellement de leur teneur en eau initiale et des échanges possibles entre le produit et le milieu extérieur (eau, air, lumière,...). Aucun emballage n'est absolument imperméable, cependant, certains ont des coefficients de perméabilité extrêmement faibles (Mathlouthi, 2008).

Selon Casteila (1998), les principaux facteurs qui influencent la vitesse de dégradation des farines en cours de stockage sont la température, la teneur en eau, l'atmosphère, le taux d'O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, les agents chimiques contenus dans la farine et la durée de stockage.

- L'humidité peut amener, dans certaines conditions, l'activité de l'eau au dessus de la normale, d'où la détérioration des qualités organoleptiques, et même le risque de production de mycotoxines. Une humidité de 12 à 14 % peut provoquer une détérioration oxydative des lipides, qui se traduit par une odeur typique de rance, et une augmentation de la teneur en acides gras libres. La variation de l'humidité peut avoir pour origine :

- de mauvaises conditions d'entreposage, telles que des locaux humides, de fortes variations de la température, et voisinage avec des produits pouvant céder de l'humidité ; (Cruz ,1988) ;
- la température est fortement liée à l'humidité. En effet, une différence de température entre diverses parties d'un même lot, peut provoquer l'augmentation de la quantité de vapeur d'eau par volume d'air,

L'augmentation de la température accélère les réactions d'altérations chimiques, biologiques et microbiologiques (Cruz, 1988).

- La présence d'oxygène et/ou de CO<sub>2</sub>, intervient sur la nature du métabolisme aérobie ou anaérobie des microorganismes, et au niveau des oxydations non enzymatiques et de certaines réactions enzymatiques (Cruz, 1988).

- La durée de stockage est un facteur qui amplifie les phénomènes de détérioration. Il introduit la notion de vitesse de réaction, dont la connaissance est indispensable, afin de déterminer la durée maximale probable de stockage (Cruz, 1988).

Le prolongement de la durée de vie des produits alimentaires consiste, en général, à empêcher leur dégradation chimique ou microbiologique pendant la durée du stockage. Empêcher la dégradation revient souvent à empêcher l'eau d'être disponible pour les réactions de dégradation. Pour rendre cette eau moins disponible, il faut renforcer soit par des opérations ou additifs technologiques les liaisons entre eau et constituants du produit alimentaire d'une part et entre molécules d'eau, d'autre part. Ainsi, la formulation du produit, les conditions de fabrication, y compris certains détails comme l'ordre de mélange des ingrédients, peuvent aider à améliorer la stabilité au stockage. De même, la maîtrise des conditions de température et d'humidité relative de l'air peuvent s'avérer nécessaires pour assurer une certaine durée de vie du produit (Mathlouthi, 2008).

Les échanges de vapeur d'eau entre le produit et l'atmosphère qui l'entoure, entraînent une perte de poids ou une humidification préjudiciable à la qualité. Plus que la teneur en eau, le paramètre le plus important dans ce domaine est l'activité de l'eau ( $a_w$ ). L'équilibre d'hydratation d'un produit alimentaire dépend de la structure de ses constituants et de leurs interactions avec l'eau

### **1.10.2. Évolution de la farine au cours du stockage**

Le stockage des matières premières (céréales, légumineuses) durant plusieurs mois est une pratique courante, puisqu'il existe un décalage entre leur production saisonnière et leur utilisation par les consommateurs. Le stockage des farines quant à elle est de plus courte durée, parce que la mouture détruit les parois cellulaires et les constituants des cellules sont au contact direct de l'air et des microorganismes. Durant les premières semaines et dans des bonnes conditions de stockage, il y a souvent amélioration de la qualité de la farine (maturation de la farine), notamment celle de la valeur boulangère (Casteila, 1998). Cependant, le stockage prolongé des farines, ou bien des conditions de stockage non satisfaisantes, peuvent être à l'origine de l'altération (Casteila, 1998).

## **1.11. Causes de l'altération de la qualité de la farine**

L'altération de la farine en cours de stockage peut avoir plusieurs origines d'ordre biochimique, chimique, enzymatique, mécanique ou physique, biologique.

### **1.11.1. Altérations d'ordre biochimique et chimique**

#### **➤ Evolution des protéines au cours du stockage**

Les évolutions structurales et fonctionnelles des protéines au cours du vieillissement sont dépendantes de la température de stockage (paramètre clé) et de l' $a_k$  de la poudre. Cependant, d'autres paramètres peuvent être influents, incombant soit à l'état initial de la poudre soit aux conditions de vieillissement : atmosphère de conservation (Jeantet, 2013).

Bellenger et Godon (1972) ont signalé que les caractéristiques des protéines de réserve évoluent au cours du stockage des farines. Ces auteurs ont en effet observé que la quantité de gliadines diminue, alors que celle de gluténine augmente; autrement dit, le vieillissement des farines se traduit par une augmentation du rapport gluténine/gliadine dont la vitesse dépend de la variété.

La quantité totale de protéines étant constante durant les périodes de stockage, l'évolution de rapport gluténine/gliadine observée est probablement liée à un processus de remaniement moléculaire similaire à celui observé par Sudha Rao et al., (1978) au cours du stockage du blé. Dès 1963, Tsen et Dempster ont observé que les quantités de thiols accessibles, soit directement, soit après dénaturation, diminuent au cours de longues périodes de stockage (6 ans). Ils ont également remarqué que la diminution des thiols directement accessibles est plus rapide que celle des thiols situés au sein des macromolécules protéiques. En 1970, Yoneyama et al. (1970) ont confirmé cette évolution pour de plus courtes périodes de stockage. Ils notent que cette chute est très rapide pendant les 15 premiers jours de stockage et qu'elle ne se produit qu'en présence d'oxygène.

Les différentes transformations biochimiques intervenant durant le stockage se produisent avant et après la période optimale de maturation (hydrolyse des lipides, oxydation des acides gras polyinsaturés et des thiols). Ainsi, les acides gras polyinsaturés générés en début de maturation sont bénéfiques puisqu'ils constituent (après oxydation) le moteur des oxydations couplées des thiols.

Cependant, si l'hydrolyse des lipides devient trop importante, les acides gras s'accumulent, dégradant les propriétés organoleptiques des farines et détériorant les propriétés du réseau de gluten des pâtes.

### ➤ **Évolution des glucides**

La plupart des travaux réalisés sur l'évolution des glucides au cours de la conservation montrent que la teneur en maltose n'évolue pas ou évolue peu. Dans ce cas, il semblerait que les évolutions observées soient, tout du moins en partie, imputables aux activités enzymatiques microbiennes (Gracza, 1965).

### ➤ **Évolution des lipides**

L'existence d'une hydrolyse des lipides au cours de la maturation est connue depuis longtemps. Elle se traduit par une augmentation du taux d'acides gras non estérifiés (AGNE). (Drapron et Uzzan, 1968 ; Clayton et Morrison, 1972 ; Drapron et Berger, 1976 ) ont prouvé que cette hydrolyse est catalysée par des lipases, celles-ci restant actives dans les milieux peu hydratés.

L'analyse des lipides neutres (Warwick et *al.*, 1979) fait ressortir que la teneur en triacylglycérol (TAG) diminue de 41% au cours de 18 mois de stockage et de 82% en 54 mois. En revanche, durant 54 mois, la teneur en diacylglycérol (DAG) ne décroît que faiblement (10 %) et celle en monoacylglycérol (MAG) demeure constante. Selon Warwick et *al.* (1979), l'hydrolyse des triacylglycérols permet d'expliquer en première approximation l'accroissement des acides gras non estérifiés.

Parallèlement aux réactions d'hydrolyse, les lipides subissent un processus d'oxydation. En effet, la quantité d'acides gras totaux diminue au cours du temps, (Warwick et *al.* 1979). Cependant cette diminution est limitée aux acides gras polyinsaturés (acide linoléique) puisque la teneur en acides gras saturés (acide palmitique) ou mono-insaturés (acide oléique) demeure constante.

De nombreux auteurs ont essayé de déterminer l'origine de l'oxydation des lipides - auto-oxydation ou oxydation catalysée par la lipoxygénase en dosant les intermédiaires primaires et secondaires d'oxydation. Bellenger et Godon (1972) ont montré que la quantité d'hydroxyacides et d'hydroperoxydes d'acide gras augmente après 13 semaines de stockage pour des farines conservées dans des conditions aérées.

### **1.11.2. Altérations d'origine enzymatique**

Les altérations d'origine enzymatique sont dues à des hydrolases qui vont tendre à dégrader les réserves biochimiques au niveau des farines

### **1.11.3. Altérations d'origine mécanique ou physique**

Les altérations d'origine mécanique ou physique sont surtout dues à des chocs entraînant des fissures ou des brisures qui favorisent très largement les autres causes d'altération et notamment l'invasion des microorganismes ; elles peuvent également provenir de l'action des radiations en doses excessives

### **1.11.4. Altérations biologiques**

Les altérations biologiques sont dues aux activités métaboliques de l'écosystème constitué par les microorganismes, les arthropodes (acariens, insectes), les petits vertébrés (rongeurs, oiseaux) et les germes présents initialement au niveau du grain lui-même (FAO 1998).

#### **➤ Microflore de la farine**

Quelle que soit leur origine, les grains et les produits qui en dérivent après mouture sont toujours porteurs d'un grand nombre de microorganismes, bactéries, levures et moisissures, appartenant à des genres et espèces très divers (FAO,1988).

La microflore des farines dérive de celle du grain, la mouture exerce un effet sélectif. En effet, les espèces du champ, peu sporulées restent au niveau des sons alors que très sporulantes, les espèces de stockage seront facilement transmises à la farine. La meule produit en plus un effet de dispersion qui conduit à la contamination de la farine. La contamination peut se faire aussi au moulin, par des espèces qui se développent dans les résidus de farine séjournant dans les machines (FAO, 1988).

Du point de vue microbiologique, les travaux de Houssou et al. (2016) rapportent une régression des germes aérobies mésophiles et des moisissures au cours de la conservation des farines infantiles. Ces auteurs ont dénombré  $4,0.10^4$  à  $4,4.10^6$  UFC/g de germes aérobies mésophiles au début et 9 mois après  $2.10^4$  à  $2,8.10^6$  UFC/g dans les farines infantiles gambarilifin et yèkè-yèkè. On note l'absence des coliformes totaux dans les échantillons des farines au départ mais après 9 mois leur présence a été détectée dans les yèkè-yèkè enrichis au soja ( $4,0.10^2$  UFC/g) et au niébé ( $5,2.10^2$  UFC/g). Les travaux de Houssou *et al.* (2016) ont montré une variation du nombre de moisissures de  $2,0.10^2$  à  $6,0.10^2$  UFC/g le premier jour ; et une régression les mois suivants allant de  $3,0.10^1$  à  $7,0.10^1$  UFC/g. Les levures absentes au départ dans les formulations des farines infantiles apparaissent lors de la conservation ou du stockage

neuf mois après avec des valeurs conformes aux normes en vigueur (Legueriel, 2014).  
Othmen (2007) a rapporté des teneurs de  $8.7 \cdot 10^3$  UFC/g des farines en flore mésophile totale.

## **II. MATERIELS ET METHODES**

### **2.1. Matériel végétal d'étude**

Au total dans le cadre de ce travail, 7 formulations de farines infantiles sont retenues comme matériel d'étude.

#### **2.1.1. Formulations retenues et critères de sélection**

Les travaux précédents menés dans le cadre du projet INFLOR ont identifié 14 formulations à partir des ressources alimentaires locales selon les 8 zones agro écologiques.

Parmi ces formulations, 5 sont retenues pour servir de matériels d'étude dans le cadre de ce travail il s'agit de :

- La formulation « GPO » qui est la formulation retenue prioritairement selon les objectifs du projet ;
- 4 autres formulations sont en plus retenues parmi les formulations des zones agro écologiques en se basant sur la disponibilité et la facilité d'accessibilité géographique et permanente des ingrédients à utiliser pour leur production. Il s'agit des formulations INFLOR2, INFLOR 4, INFLOR 6 et INFLOR 8.

A ces 5 formulations de base, 2 autres sont complétées à savoir GPO+ et INFLOR2+ où l'eau est remplacée par une infusion de gaine foliaire de sorgho pour voir l'impact de la gaine foliaire de sorgho reconnu pour son activité antioxydant sur le stockage des farines. La comparaison entre GPO+ et GPO, INFLOR2 et INFLOR2+ sera fait pour faire ressortir cette influence.

Si toutes les farines sont fabriquées suivant le même procédé technologique, les différences fondamentales entre les formulations sont résumées dans les tableaux 5 et 6 ci-dessous.

**Tableau 5:** Caractéristiques des différentes formulations

<b>Formulation</b>	<b>Différences fondamentales</b>
GPO	<ul style="list-style-type: none"><li>-Formulation à base de Mais</li><li>-Contient 30% de malt de Mais</li><li>-Humidification avec de l'eau distillée</li><li>-Enrichissement avec de la pulpe de baobab</li></ul>
GPO+	<ul style="list-style-type: none"><li>-Formulation à base de Mais</li><li>- Contient 30% de malt de Mais</li><li>- Humidification avec de l'infusion de gaine de sorgho</li><li>-Enrichissement avec de la pulpe de baobab</li></ul>
INFLOR 2	<ul style="list-style-type: none"><li>-Formulation à base de sorgho</li><li>-Contient 15% de malt de sorgho</li><li>-Humidification avec de l'eau distillée</li><li>-Enrichissement avec de la pulpe de baobab</li></ul>
INFLOR 2+	<ul style="list-style-type: none"><li>-Formulation à base de sorgho</li><li>-Contient 15% de malt de sorgho</li><li>-Humidification avec de l'infusion de gaine de sorgho</li><li>-Enrichissement avec de la pulpe de baobab</li></ul>
INFLOR 4	<ul style="list-style-type: none"><li>-Formulation à base de sorgho</li><li>-Contient 15% de malt sorgho</li><li>-Humidification avec de l'eau distillée</li><li>-Enrichissement avec de la pulpe de néré</li></ul>
INFLOR 6	<ul style="list-style-type: none"><li>-Formulation à base de sorgho</li><li>-Contient 15% de malt de sorgho</li><li>-Humidification avec de l'eau distillée</li><li>-Enrichissement avec de la poudre de Grande morelle</li></ul>
INFLOR 8	<ul style="list-style-type: none"><li>-Formulation à base de Mais</li><li>-Contient 15% de malt de Mais</li><li>-Humidification avec de l'eau distillée</li><li>-Enrichissement avec de la poudre de grande morelle</li></ul>

**Tableau 6** : Récapitulatif des différences de formulation entre les farines

Formulations Ingrédients	GPO	INFLOR2	INFLOR4	INFLOR6	INFLOR8
Maïs malté	30				15
Maïs nettoyé	21				36
Sorgho malté		15	15	15	
Sorgho nettoyé		36	36	36	
Soja torréfié et décortiqué	30	30	30	35	30
Pulpe de baobab	7	7			
Pulpe de Néré			7		
Grande morelle (Solanum macrocarpon L.)				2	2
Petit poisson séché	2	2	2	2	2
Arachide torréfiée et dépelliculée	10	10	10	10	10

## 2.2. Production des différentes farines infantiles

### 2.2.1. Les formulations des farines

Les ingrédients utilisés dans les formulations des différentes farines sont :

- Le Maïs malté, le Maïs, le sorgho, le sorgho malté comme principales sources de glucide et d'enzymes amylase pour augmenter la densité énergétique et faciliter la digestibilité des farines ;
- Le soja torréfié dépelliculé, l'arachide torréfiée dépelliculé et le petit poisson séché comme sources de protéines et de lipides.
- La pulpe de baobab, la pulpe de néré, ou la grande morelle comme source de vitamines et de minéraux.

Ainsi les compositions des différentes formulations des farines retenues dans le cadre de cette étude sont présentées dans les tableaux 7, 8, 9, 10,11

**Tableau 7:** Constituants et composition théorique de la formulation de la farine GPO

Norme		400 Kcal	15g	10-25g	5g
Ingrédients	%	Energie Kcal	Protéines	Lipides	Fibres
<b>Maïs malté</b>	30	50	1,32	0,6	1,455
<b>Maïs nettoyé</b>	21	122,24	3,168	1,44	3,492
<b>Soja torréfié et dépelliculé</b>	30	123	12,756	7,293	4,539
<b>Pulpe de baobab</b>	7	21,14	0,2338	0,0427	0,425
<b>Petit poisson séché</b>	2	9,2	1,29	0,1848	0,013
<b>Arachide torréfiée et dépelliculée</b>	10	58,35	2,23	4,68	0,905
<b>Valeur nutritionnelle théorique de la farine (100g)</b>		<b>383,93</b>	<b>20,9978</b>	<b>14,2405</b>	<b>10,829</b>

Source : Gossy, 2016

**Tableau 8:** Constituants et composition théorique de la formulation de la farine INFLOR 2

Ingrédients	%	Energie Kcal	Protéines	Lipides	Fibres
<b>Sorgho malté</b>	15	60	1,5105	0,4185	0,552
<b>Sorgho nettoyé</b>	36	125,28	3,5208	0,6372	1,2204
<b>Soja torréfié et dépelliculé</b>	30	123	12,756	7,293	4,539
<b>Pulpe de baobab</b>	7	21,14	0,2338	0,0427	0,425
<b>Petit poisson séché</b>	2	9,2	1,29	0,1848	0,013
<b>Arachide torréfiée et dépelliculée</b>	10	58,35	2,23	4,68	0,905
<b>Valeur nutritionnelle théorique de la farine (100g)</b>		<b>396,97</b>	<b>21,5411</b>	<b>13,2562</b>	<b>7,6544</b>

Source : Adéyèmi, 2016

**Tableau 9:** Constituants et composition théorique de la formulation de la farine INFLOR 4

Ingrédients	%	Energie Kcal	Protéines	Lipides	Fibres
Sorgho malté	15	60	1,5105	0,4185	0,552
Sorgho nettoyé	36	125,28	3,5208	0,6372	1,2204
Soja torréfié et dépelliculé	30	123	12,756	7,293	4,539
Farine Pulpe de Néré	7	23,31	0,322	0,091	0,931
Petit poisson séché	2	9,2	1,29	0,1848	0,013
Arachide torréfiée et dépelliculé	10	58,35	2,23	4,68	0,905
Valeur nutritionnelle théorique de la farine (100g)		399,14	21,6293	13,3045	8,1604

Source : Adeyemi, 2016

**Tableau 10:** Constituants et composition théorique de la formulation de farine INFLOR 6

Ingrédients	%	Energie Kcal	Protéines	Lipides	Fibres
Sorgho malté	15	60	1,5105	0,4185	0,552
Sorgho nettoyé	36	125,28	3,5208	0,6372	1,2204
Soja torréfié et dépelliculé	35	143,5	14,182	8,5085	5,2955
Petit poisson séché	2	9,2	1,29	0,1848	0,013
Grande morelle (Solanum macrocarpon L.)	2	4	0,603	0,025	0,139
Arachide torréfiée et dépelliculée	10	58,35	2,23	4,68	0,905
Valeur nutritionnelle théorique de la farine (100g)		400,33	23,3363	14,454	8,1249

Source : Adeyemi, 2016.

**Tableau 11:** Constituants et composition théorique de la formulation de farine INFLOR 8

Ingrédients	%	Energie Kcal	Protéines	Lipides	Fibres
<b>Maïs malté</b>	15	50	1,32	0,6	1,455
<b>Maïs nettoyé</b>	36	122,24	3,168	1,44	3,492
<b>Soja torréfié et dépelliculé</b>	35	143,5	14,182	8,5085	5,2955
<b>Petit poisson séché</b>	2	9,2	1,29	0,1848	0,013
<b>Grande morelle (Solanum macrocarpon L.)</b>	2	4	0,603	0,025	0,139
<b>Arachide torréfiée et dépelliculée</b>	10	58,35	2,23	4,68	0,905
<b>Valeur nutritionnelle théorique de la farine (100g)</b>		<b>387,29</b>	<b>22,793</b>	<b>15,4383</b>	<b>11,2995</b>

Source : Adeyemi, 2016.

### 2.2.2- Prétraitement des matières premières

#### ➤ Maïs et sorgho ; production de malt de maïs/sorgho et farine de maïs/sorgho

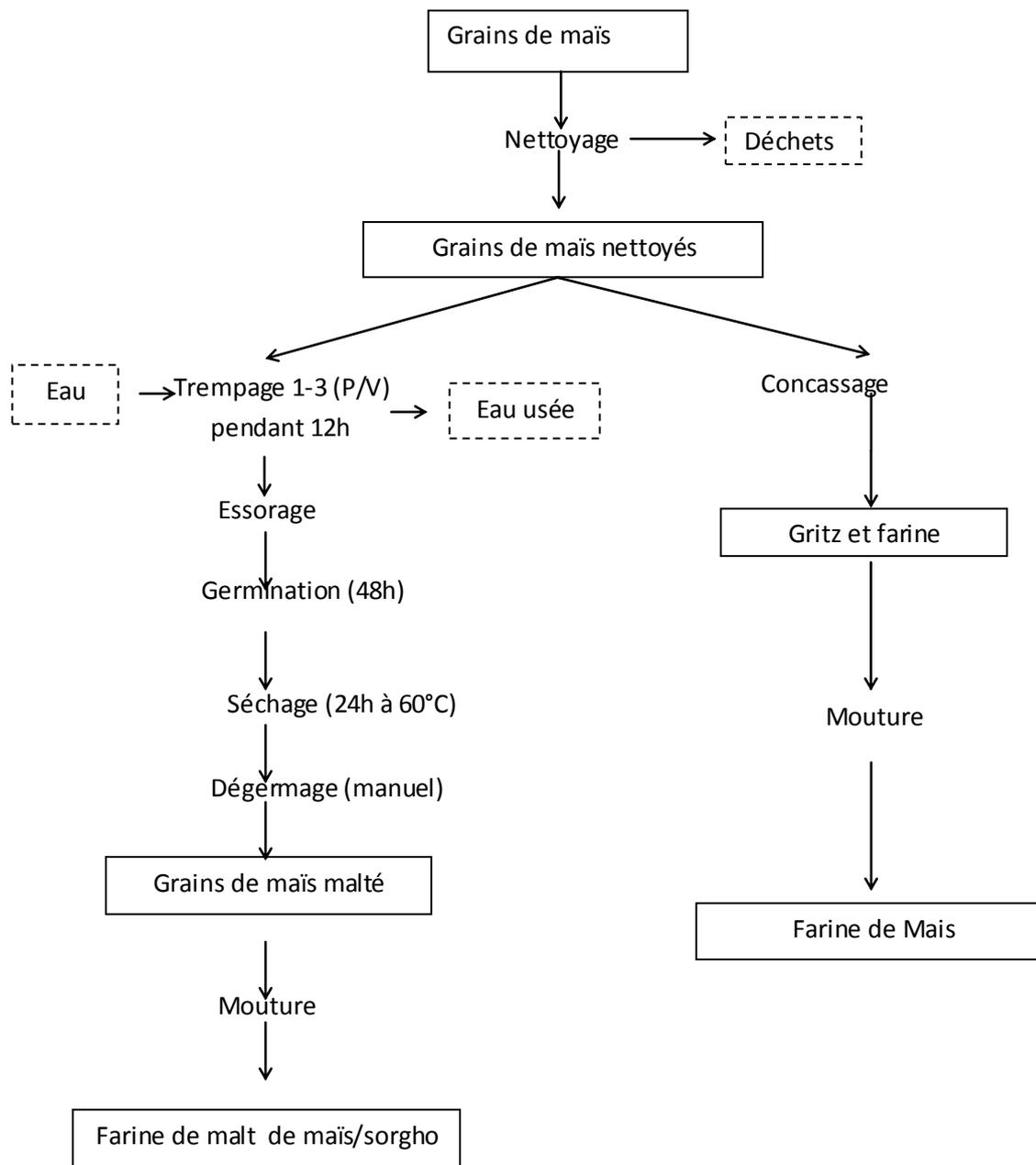
Le maïs préalablement trié est lavé avant d'être malté selon le diagramme présenté par la figure 2. Les photos 1 et 2 montrent un aperçu du maïs et du sorgho après maltage



**Photo 1: Maïs malté**



**Photo 2 : Sorgho malté**



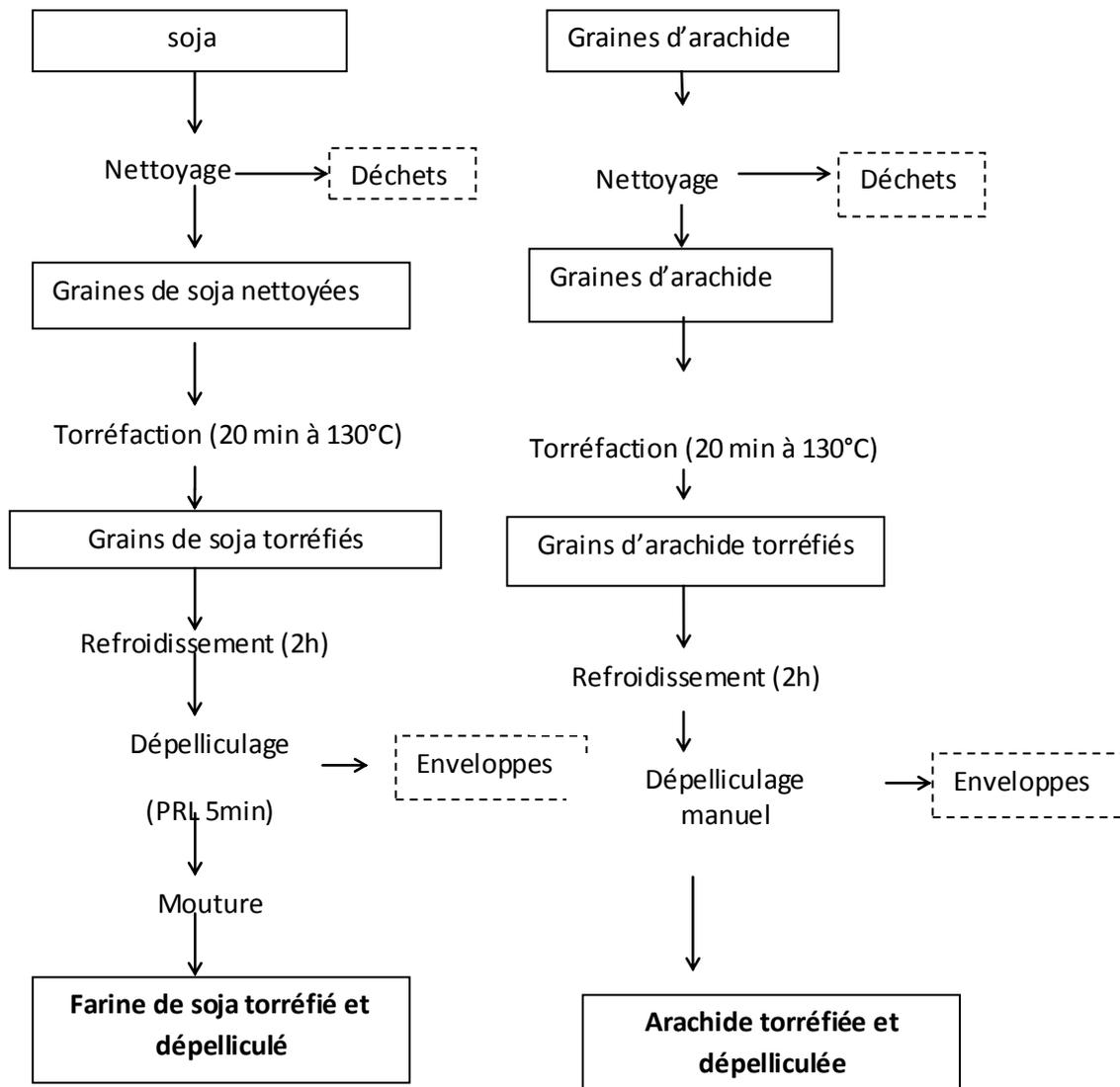
**Figure 2: Diagramme technologique de production de Farine et Malt de Maïs /sorgho**

Source : Gossy, 2016

### ➤ Soja et arachide

Le soja et l'arachide après triage ont été séparément torréfiés à 130°C pendant 20 min afin de réduire leur teneur en facteurs antinutritionnels. Après refroidissement pendant 2 h à température ambiante, l'arachide torréfiée est dépelliculée manuellement puis vannée pour séparer l'enveloppe des cotylédons. Alors que le soja quant à lui est dépelliculé grâce au décortiqueur PLR et moulu grâce au moulin à meule.

Le soja et l'arachide ont subi quelques opérations de prétraitement suivant le diagramme technologique présenté dans la figure 3.



**Figure 3:** Diagramme technologique de production du soja et de l'arachide torréfié

Source : Gossy, 2016

Les photos 3 et 4 ci-dessous présentent un aperçu de l'arachide torréfiée, dépelliculée et celle de la farine de soja torréfié, dépelliculé



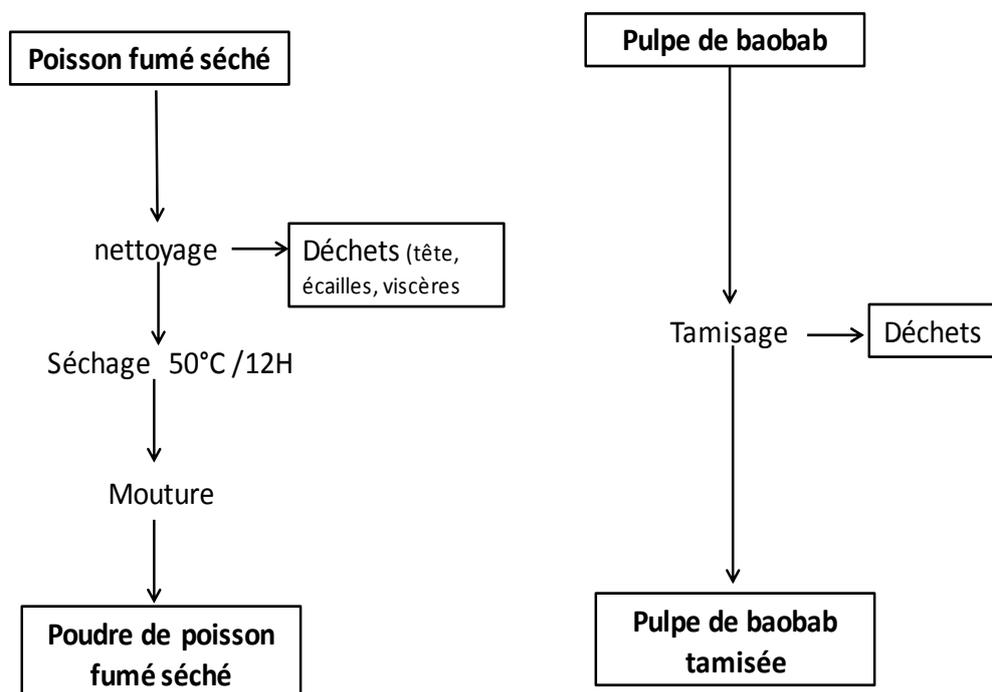
**Photo 3 :** Arachide torréfiée et dépelliculée



**Photo 4 :** Farine de soja torréfié et dépelliculé

### ➤ Prétraitement du poisson et de la pulpe du Baobab

Pour obtenir de la poudre de poisson, le poisson fumé séché est débarrassé de sa tête, de ses écailles et nageoires avant d'être moulu à la moulinette. On obtient ainsi la poudre de poisson fumé séché. La pulpe de baobab quant à lui après achat est tamisée avec du tamis fin afin d'y retirer fibres et impuretés voir figure 4.

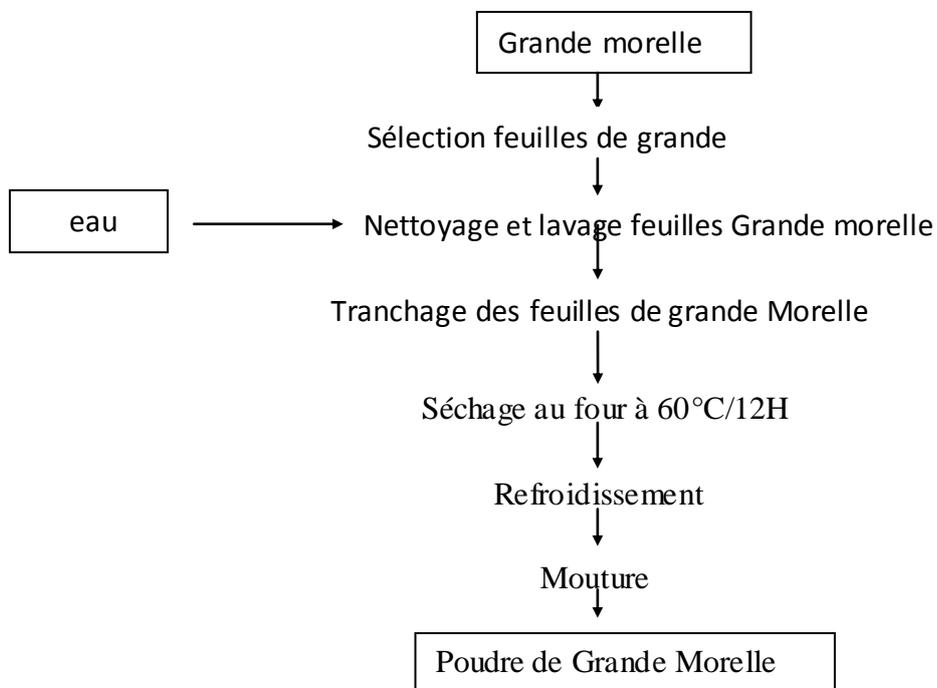


**Figure 4: Diagramme technologique de production de la poudre de poisson et de la pulpe de baobab tamisée**

Source : Gossy, 2016

### ➤ Prétraitement des légumes (Grande Morelle)

Le processus de prétraitement et traitement des légumes est résumé ci-dessous



**Figure 5:** Diagramme technologique de production de la poudre de Grande Morelle  
**Source :** Adjadogbedji, 2017

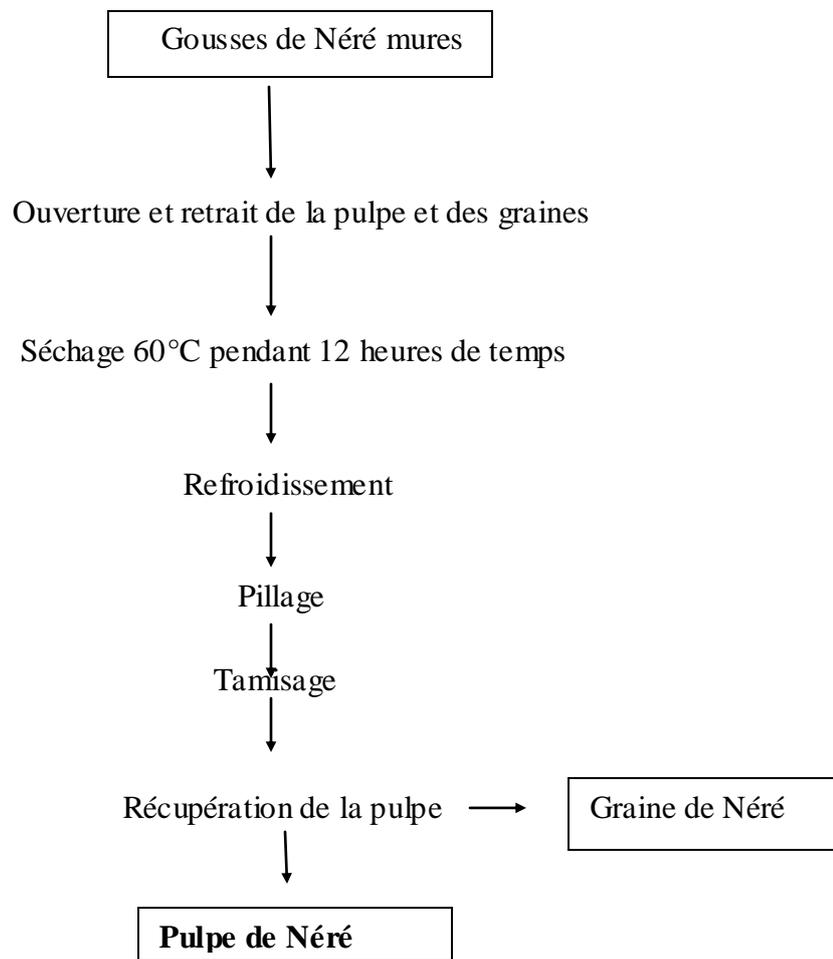
La photo 5 montre une vue globale de la poudre de Grande Morelle



**Photo 5 :** Poudre de Grande Morelle

➤ **Traitement pour obtention de la pulpe de Néré**

Les gousses de nérés mures après achat sont traitées suivant le diagramme ci-dessous figure 6



**Figure 6:** Diagramme technologique d'obtention de la Poudre de Néré

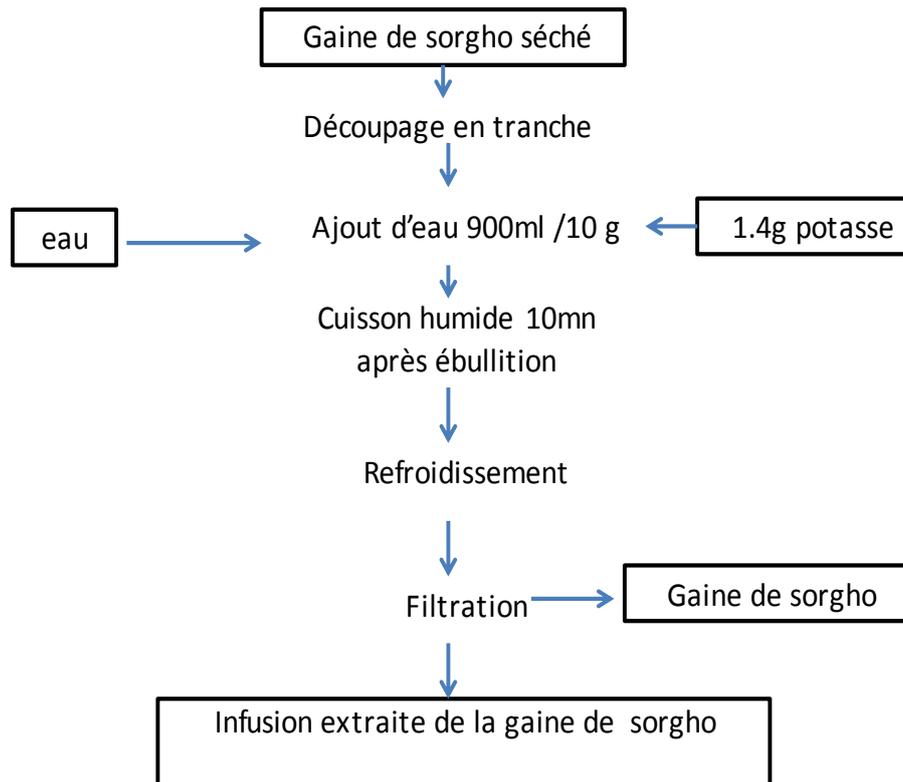
La photo 6 donne une vue de la pulpe de néré après obtention



**Photo 6 :** Pulpe de Néré

➤ **Traitement pour l'obtention d'une infusion de gaine de sorgho**

Afin de disposer d'une infusion de gaine de sorgho pour la production des farines GPO+ et INFLOR+, la méthodologie utilisée pour le traitement des gaines de sorgho est présentée comme suit (figure 7 et photo 7).



**Figure 7** : Diagramme technologique d'obtention d'infusion de gaine de sorgho

Les différentes étapes du processus de préparation de l'infusion de gaine de sorgho sont



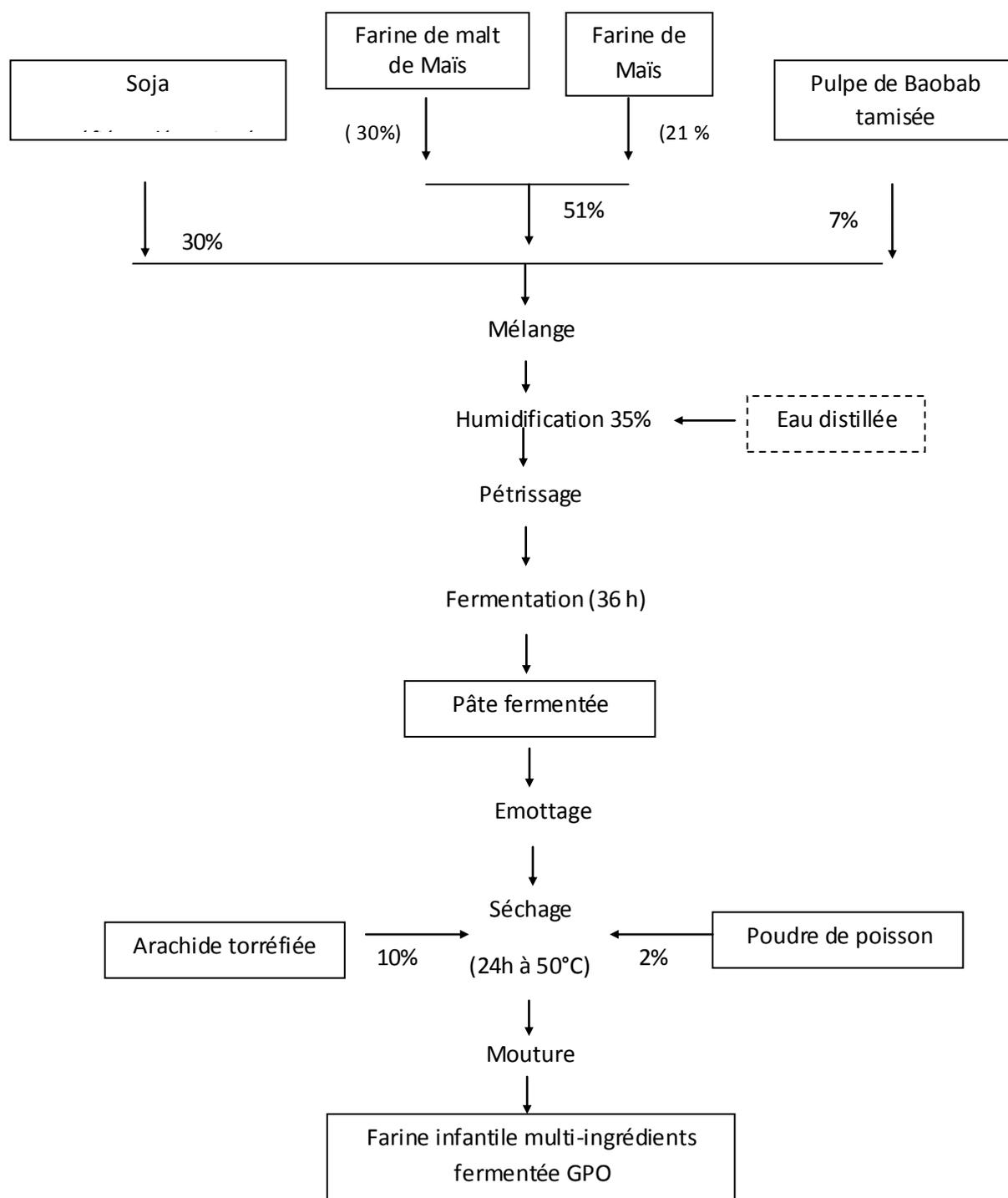
**Photo 7 :** Processus de production de l'infusion de gaine de sorgho  
**Source :** ADJADOGBEDJI, 2017

### 2.2.3. Production des formules de farines infantiles

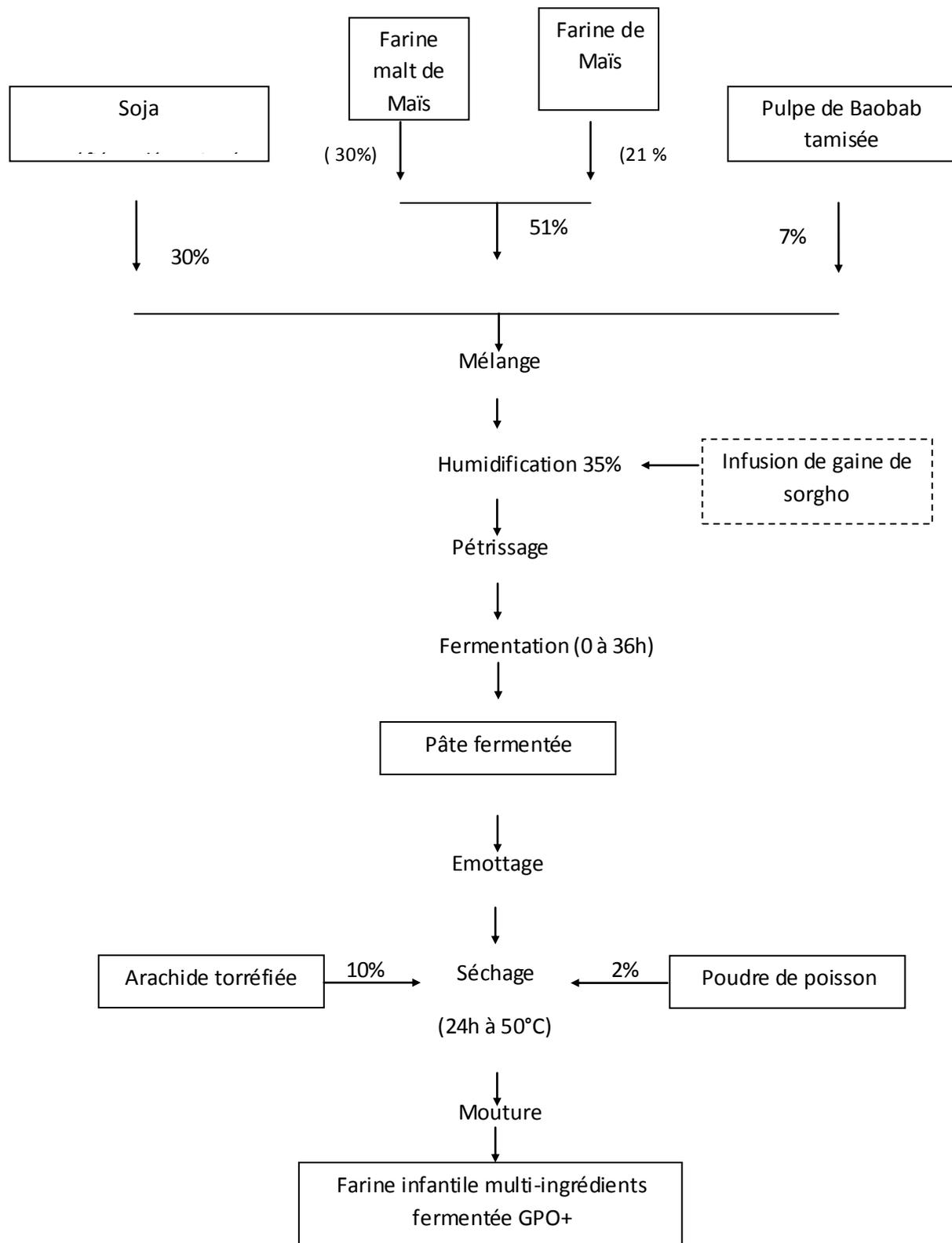
Les produits intermédiaires malt de maïs, malt de sorgho, farine de maïs et de sorgho, farine de soja torréfié et depelliculée, farine d'arachide torréfiée, pulpe de baobab tamisée, poudre de poisson etc, sont pesés sur la base du poids sec puis mélangés manuellement. La farine issue du mélange est ensuite pétrie après ajout d'eau (35%) puis laissée fermentée pendant 72 h dans un seau en plastique hermétiquement fermé. Un séchage (24 h à 50°C) est nécessaire pour arrêter la fermentation et stabiliser les farines fermentées obtenues. A ce niveau, la poudre de poisson séché et l'arachide torréfiée sont rajoutées. La production des farines est réalisée selon le processus technologique de la figure 9 .

S'inspirant des conditions de travail en entreprise et dans le souci de faciliter la formulation, les pourcentages de chaque ingrédient proposé dans les études de Gossy (2015) a été revu à des entiers naturels. De même afin de réduire la consommation en énergie qui est un souci permanent des producteurs lors du séchage, l'humidification du mélange est ramené de 45% à 35% d'eau avec une durée de fermentation ramené à 36 h au lieu de 72h.

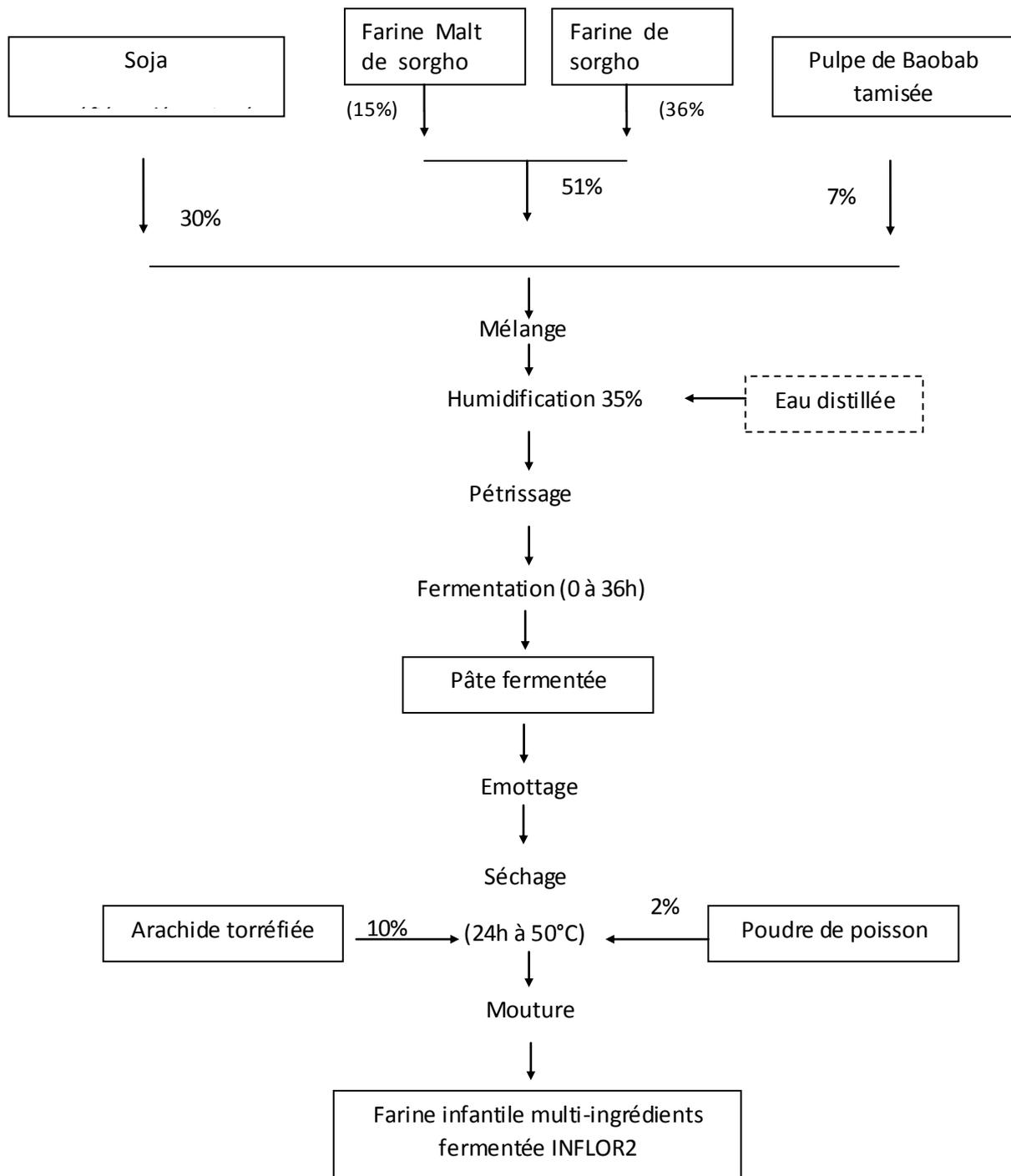
Les processus de fabrication des différentes formulations de farines sont présentés dans les figures 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 ci-dessous.



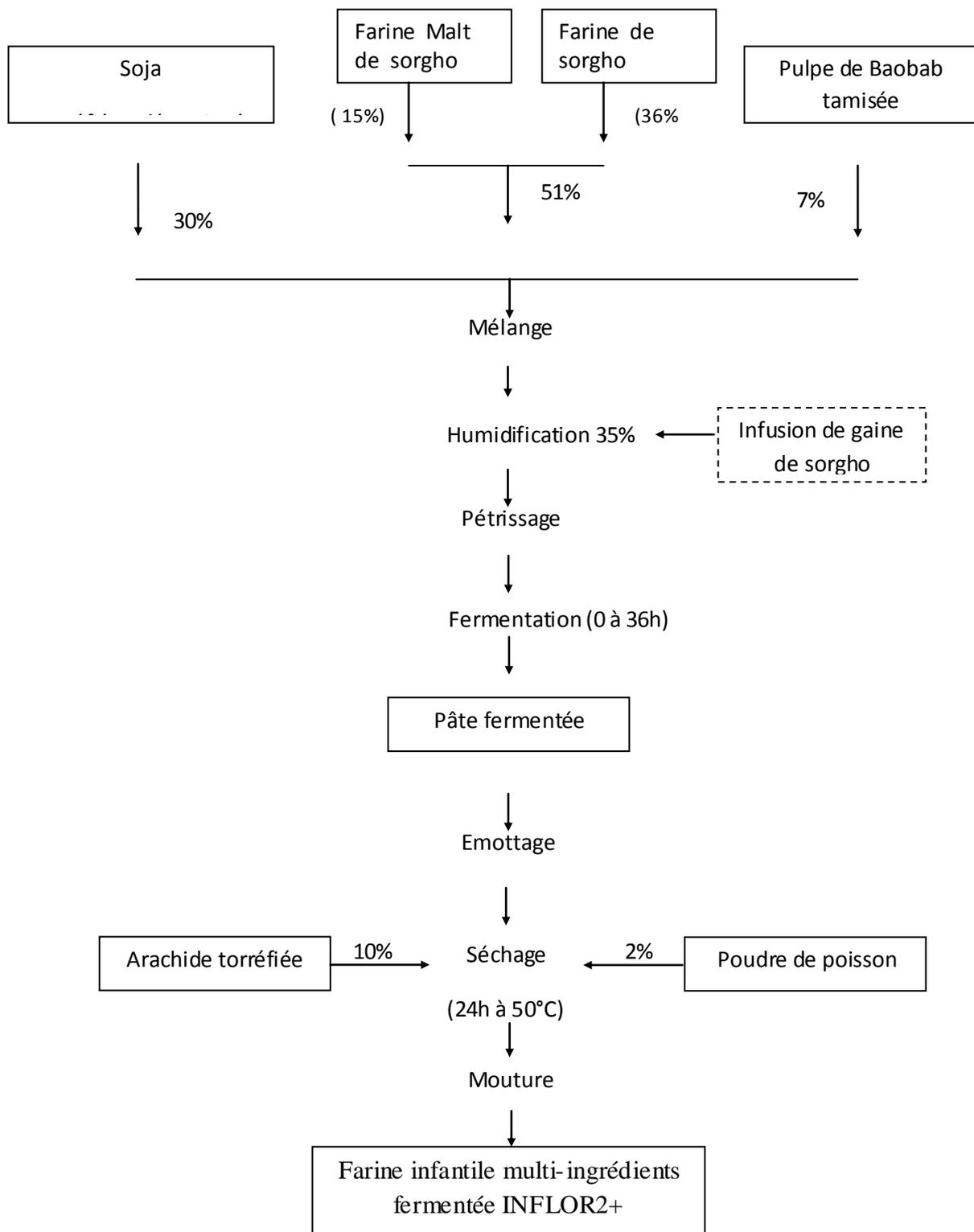
**Figure 8 :** Diagramme de production de la farine GPO



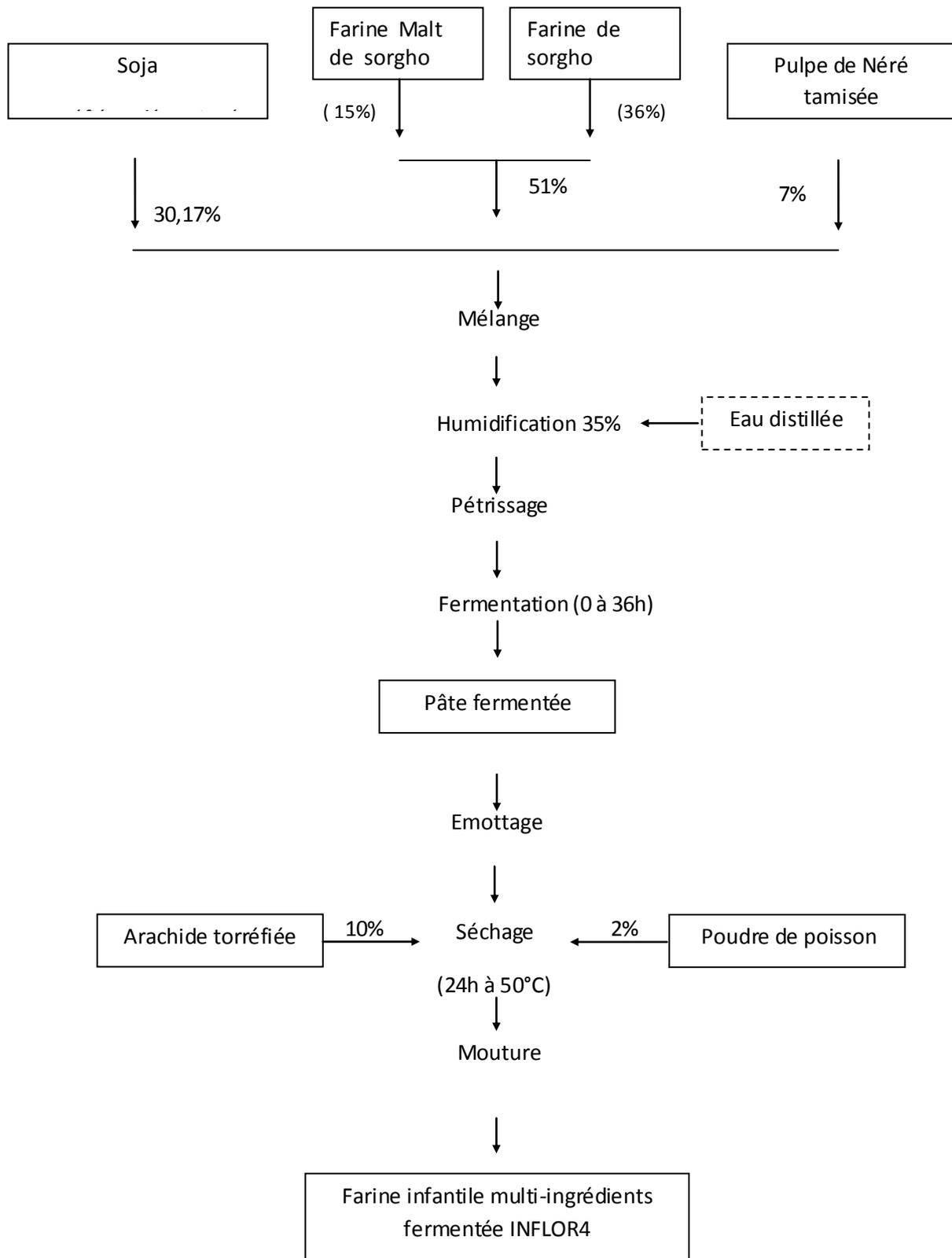
**Figure 9:** Diagramme de production de la farine GPO+



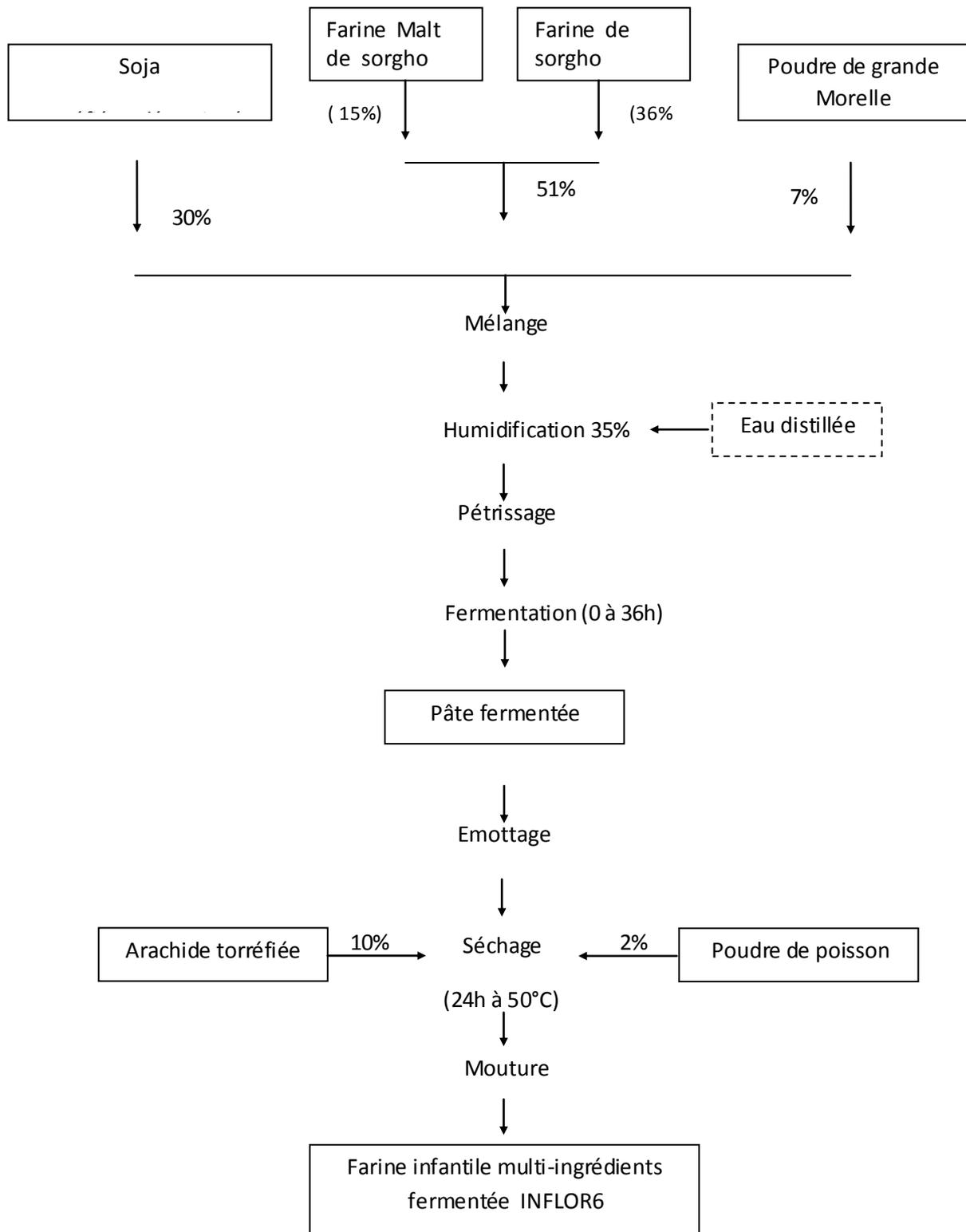
**Figure 10:** Diagramme de production de la farine INFLOR 2



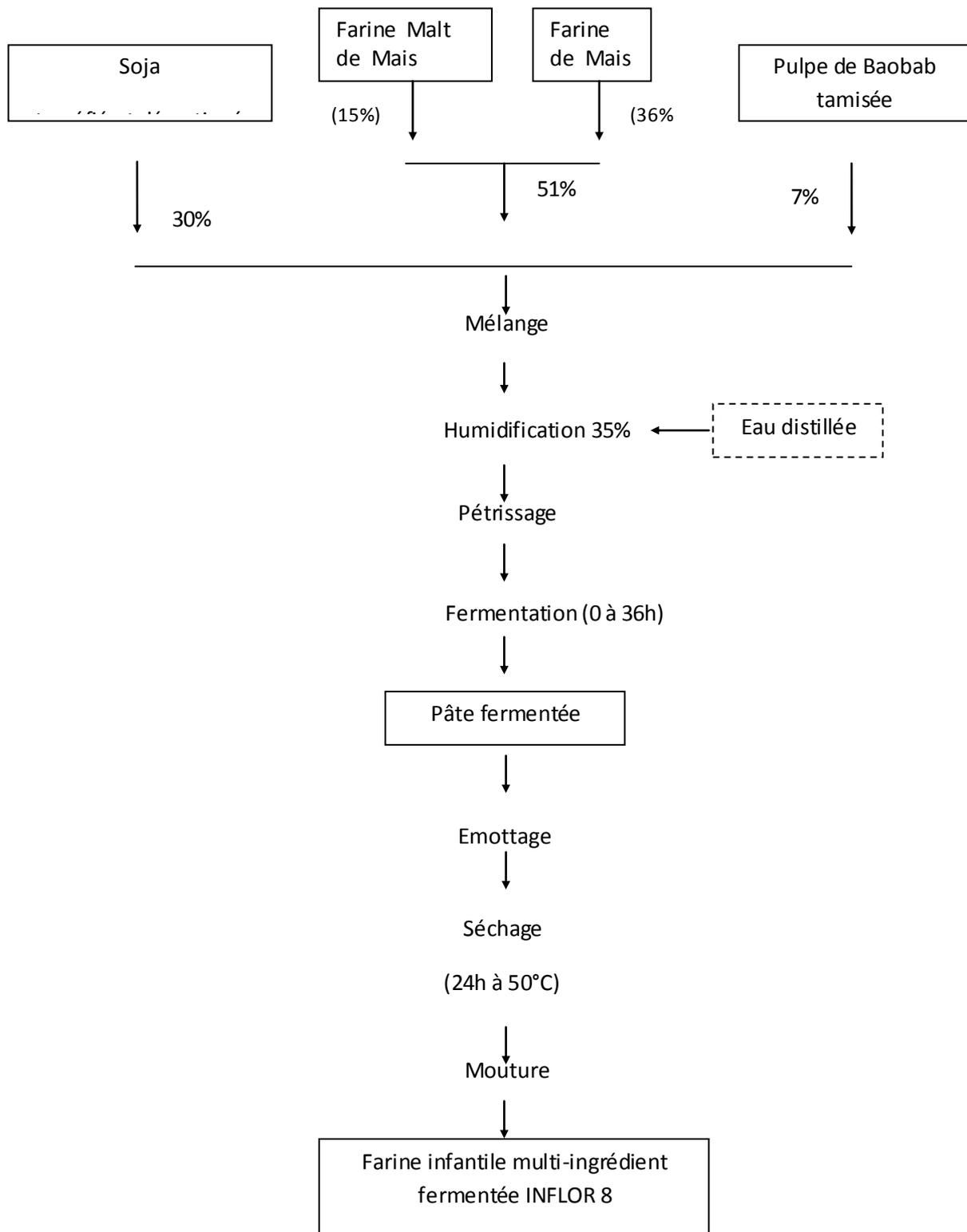
**Figure 11:** Diagramme de production de la farine INFLOR2+



**Figure 12:** Diagramme de production de la farine INFLOR4



**Figure 13:** Diagramme de production de la farine INFLOR6



**Figure 14:** Diagramme de production de la farine INFLOR 8

### 2.3. Méthode d'étude

La méthode adoptée pour évaluer l'aptitude au stockage des farines a consisté à réaliser dans un premier temps les différentes farines selon les formulations théoriques retenues des précédents travaux. Afin d'éviter toute rupture de stock en cours d'étude et d'avoir une quantité suffisante de matériel d'étude, une quantité moyenne de 10 kg pour chaque formulation de farine est produite et mise en stock. Cette phase qui s'est faite en majorité sur les ateliers de transformation du département de technologie alimentaire de la FSA et dans l'atelier de production de l'entreprise Groupe PEPITE D'OR a duré en moyenne 2 mois (voir photo 1).



**Photo 8:** Farines après production et refroidissement

**Source :** ADJADOGBEDJI , 2017

Dans un deuxième temps des évaluations de certains paramètres (physico-chimiques, microbiologiques et sensoriels) supposés pouvant influencer la stabilité du produit sont faites à un temps  $T_0$  qui correspond au temps de production des farines c'est-à-dire avant mise en stockage.

Dans un troisième temps les mêmes paramètres sont réévalués et répétés à des temps  $T_x$  ( $x$  = nombre de mois de stockage avant prélèvement) et ceci successivement durant 6 mois de stockages.

Dans un quatrième temps une comparaison de la dynamique de l'évolution des dits paramètres mesurés en cours du stockage est faite afin de voir leur tendance et de faire des interprétations et tirer des conclusions.

#### 2.3.1. Conditionnement de la farine

Afin de simuler les conditions de stockage des farines au sein de l'entreprise GPO, les farines après production sont emballées en quantité d'environ 400 g dans des poches sachets de grade alimentaire de couleur blanc opaque (Voir photo 2). Le scellage des sachets contenant la

farine s'est faite avec une thermo soudeuse .Afin de nous assurer de l'étanchéité des soudures au moment du scellage nous avons effectué deux scellages superposés (Voir photo 1)



**Photo 9: Dispositif de scellage des farines**

**Source** : Adjadogbedji, 2017



**Photo 10** : Type de conditionnement pour les farines au cours de l'étude

**Source** : Adjadogbedji, 2017

### **2.3.2. Conditions et durée de stockage en cours d'étude**

Les farines ainsi conditionnées sont disposées dans des sceaux en plastique avec couvercle et stockées durant 6 mois dans la salle de manipulation du Laboratoire de Valorisation et de Gestion de la Qualité des Bio-ingrédients Alimentaires au Département de Nutrition et Technologie Alimentaire de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA).



**Photo 11 : Modèle de seau servant de réservoir de stockage des farines conditionnées**

#### **2.4. Mesure de la température et de l'humidité relative du milieu de stockage**

Les mesures de température ( $T^{\circ}\text{C}$ ) et d'humidité relative de l'air (HR%) sont faites dans l'environnement immédiat de stockage des farines ceci grâce à un hygromètre (de type **Thermo-hydro recorder**). Ainsi le thermo hydro recorder équipé de sa sonde sont déposés dans le seau contenant les farines emballées et réglée de manière à enregistrer la plus forte température et Humidité relative.



**Photo 12 : Image montrant le dispositif de mesure de la température et d'humidité relative du milieu de stockage des échantillons de farines**

## **2.5. Détermination des paramètres physico- chimiques**

Afin de déterminer l'effet de la conservation sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des différentes formules de farines infantiles, des échantillons ont été prélevés tous les trente jours pour diverses analyses à partir du premier jour (T<sub>0</sub>) de mise en conservation. Ainsi dans la restitution des résultats T1 représente le produit après 1 mois de stockage, T2 après 2 mois de stockage et ainsi de suite

### **2.5.1. Détermination de la teneur en eau**

La teneur en eau est déterminée selon la norme française NF V 03 921 de l'Association Française de Normalisation (AFNOR). Elle correspond à la perte de masse subie par l'échantillon après chauffage dans une étuve à 103 ± 2°C jusqu'à poids constant. La teneur en eau et en matière sèche volatile est exprimée en pourcentage pondérale par la formule

$$Te = \frac{M2 - M0}{M1 - M0} \times 100$$

Où

M<sub>0</sub> est le poids à du creuset

M<sub>1</sub> est la prise d'essai (en g) ;

M<sub>2</sub> est le poids du creuset et du résidu après séchage jusqu'à poids constant '(en g)

La teneur en matière sèche (MS) de l'échantillon, exprimée en pourcentage pondéral se déduit de la valeur Te,

$$MS = 100 - Te$$

### **2.5.2. Détermination du pH**

Il a été déterminé par la méthode AACC 14.022 (1984). A 10 g de farine pesée dans un erlenmeyer, on additionne 90 ml d'eau distillée. On homogénéise le mélange puis on passe à la mesure du pH à partir d'un pH mètre électronique de marque HANA initialement étalonné.

### 2.5.3. Acidité titrable

L'acidité titrable (AT) des farines a été mesurée par la méthode AACC 02.31 (AACC, 1984). Celle-ci consiste à dissoudre 10 g de farine dans 100 ml d'eau distillée. Après agitation, on prélève 17.5 ml de surnageant au quel on ajoute le même volume d'eau distillée. On ajoute 0.5 ml de phénolphthaléine au mélange et on titre ce dernier avec de la soude 0.1N. L'acidité titrable est exprimée en g d'acide lactique pour 100g de farine par la formule.

$$\text{AT (g d'acide lactique/100g de farine)} = \frac{V(\text{NaOH} \times 0.9)}{P_e \times \text{MS}}$$

MS = teneur en matière sèche %

AT = taux d'acidité titrable ;

V = Volume de soude 0,1N ayant servi à la titration ;

P<sub>e</sub> = Poids de l'échantillon ;

MS = teneur en matière sèche de l'échantillon

### 2.5.4. Détermination de la teneur en protéines

La méthode de Kjeldahl a été utilisée pour déterminer le taux de protéines. Dans un matras, on prélève 1 g de l'échantillon auquel on ajoute 2 pastilles catalyseur, 12 ml d'acide sulfurique concentré et quelques granules de pierres ponce. L'ensemble est minéralisé à la température est portée à 420°C. La décoloration brune indique la fin de la minéralisation. Un témoin contenant tous les réactifs sauf l'échantillon est traité de la même manière. Après refroidissement des matras et de leur contenu, on y introduit 50 ml d'eau distillée. La distillation est réalisée dans le distillateur de Kjeldahl en présence de 75 ml d'hydroxyde de soude à 38 % ; 25 ml d'indicateur coloré contenant de l'acide borique, on passe à la titration. Cette dernière est réalisée avec l'aide de l'acide chlorhydrique à 0,1 N jusqu'au virage au rouge pâle.

Le taux de protéine (TP) est calculé par la formule ci-après :

$$\text{Tp} = 1,401 \times 6,25 \times (V_e - V_b)$$

T= titre de l'acide chlorhydrique

V<sub>b</sub> = volume d'acide chlorhydrique ayant servi à la titration du témoin (ml)

V<sub>e</sub>= volume d'acide chlorhydrique ayant servi à la titration (ml)

P= Poids de l'échantillon.

### 2.5.5. Détermination de la teneur en lipides

Elle a été déterminée par la méthode de Soxhlet (AACC, 1984). Elle consiste à extraire les lipides libres de l'échantillon avec de l'éther de pétrole, lequel est évaporé par la suite. L'extraction se fait à une température comprise entre 40 et 70°C. Les ballons sont séchés, refroidis et pesés à vide. On y verse environ 200 ml d'éther de pétrole. On introduit ensuite 5g de l'échantillon dans une cartouche refermée avec du coton dégraissé.

L'ensemble cartouche et ballon est monté dans un extracteur de type Soxhlet. L'extraction prend fin au bout de 4 heures environ et les ballons sont retirés et évaporés. Ces derniers sont ensuite pesés après séchage pendant une heure à l'étuve (105°C) puis refroidis au dessiccateur. La teneur en lipides TL de l'échantillon est déterminée au moyen de la formule :

$$\text{TL (\%)} = ((P_f - P_i) / (P_0 \times MS)) \times 100$$

P<sub>i</sub> = masse du ballon avant l'extraction

P<sub>f</sub> = masse de l'ensemble ballon et lipides après l'extraction

P<sub>0</sub> = masse de l'échantillon

MS = taux de matière sèche de l'échantillon

### 2.5.6. Détermination de la Teneur en cendres

Les minéraux totaux ont été déterminés par la méthode de Bryant et Mc Clements, (2000). Des creusets en porcelaine ont été séchés à l'étuve à 105°C pendant une heure, refroidis au dessiccateur et pesés. On introduit ensuite dans chaque creuset environ 5 g d'échantillon. Les échantillons sont incinérés à 550°C pendant 24 h dans un four à moufle. L'ensemble est à nouveau pesé après refroidissement dans un dessiccateur (en verre). Le taux de cendres (TC) est déterminé par la formule ci-après:

$$\text{TC (\%)} = ((P_2 - P_1) / (P_0 \times MS)) \times 100$$

Avec P<sub>0</sub> = masse l'échantillon ;

P<sub>1</sub> = masse de creuset vide ;

P<sub>2</sub> = masse de creuset + échantillon incinéré ;

TC = taux de cendres de l'échantillon ;

MS= teneur en matière sèche.

### 2.5.7. Détermination de l'indice d'acide

L'indice d'acide est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaires pour neutraliser les acides gras libres présents dans un gramme de corps gras. Il a été déterminé selon la méthode à l'alcool normalisée NF T 60-204. L'acidité est l'expression conventionnelle du pourcentage d'acide oléique. Si l'échantillon contient des acides minéraux, ceux-ci sont par convention déterminés comme acide gras.

Ainsi 2 g de matières grasses extraites des farines par la méthode de Soxhlet sont dissoutes dans environ 100 ml d'éthanol préalablement. La solution est ensuite titrée, en agitant avec une solution d'hydroxyde de potassium 0.1N jusqu'à virage de l'indicateur (coloration rose de la phénolphthaléine persistant durant au moins 10 secondes). L'acidité (IA) exprimé en pourcentage de masse est calculée par la formule :

$$IA = \frac{V \times C \times M}{m \times 10}$$

Où

**V** est le volume de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisée en ml

**C** est la concentration de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisée en mol/L

**m** est la masse de la prise d'essai (en g)

**M** est la masse molaire de l'hydroxyde de potassium en g/mol

### 2.5.8. Détermination de l'indice de peroxyde

L'indice de peroxydes d'un corps gras est le nombre de microgramme d'oxygène actif du peroxyde contenu dans un gramme du produit ou le nombre de milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme de corps gras et oxydant l'iodure de potassium avec libération d'iode dans les conditions de la méthode NF T 60 -220.

1,2 à 2,0 g de l'huile extraite des farines sont pesées et rapidement dissous dans 10ml de chloroforme. 15ml d'acide acétique puis 1ml de solution d'iodure de potassium sont ensuite ajoutés. L'ensemble est agité pendant une minute et abandonné 5 minutes à l'abri de la lumière. 75 ml d'eau distillée sont ajoutées au mélange après le séjour à l'obscurité puis l'iode libéré est titré avec la solution de thiosulfate de sodium 0.01N en agitant vigoureusement et en

présence d'empois d'amidon comme indicateur. Parallèlement et simultanément on effectue un essai à blanc sans le corps gras.

L'indice de peroxyde

$$Ip = \frac{(V - V_0) \times 0.01}{m}$$

Où

**V** est le volume de thiosulfate de sodium 0.01N utilisé pour l'essai avec l'huile en ml

**V<sub>0</sub>** est le volume de thiosulfate de sodium utilisé pour l'essai à blanc en ml

**m** est la masse de la prise d'essai en gramme.

## 2.6 Méthode de Préparation des bouillies

Dans le cadre des analyses sensorielles et des mesures de consistance sur les bouillies, la préparation des bouillies s'est faite pour se rapprocher au mieux des conditions de préparation des bouillies dans les ménages et des modes de préparation proposée par les entreprises productrices. Ainsi le rapport de 16 g de farine et 4 g de sucre dans 100 ml d'eau est respecté. Les bouillies sont préparées sur plaque chauffante. La cuisson est chaque fois arrêtée après 5 minutes d'ébullition sur la plaque.

## 2.7. Mesure de la Consistance des bouillies

Afin de mesurer l'influence de la durée de stockage sur le pouvoir de gonflement des farines, la consistance des bouillies a été déterminée en utilisant le consistomètre de Bostwick. Le compartiment délimité par un système de guillotine est rempli avec un volume de 100 ml de bouillie de température égale à 45°C. A  $t = 0$ , la bouillie est libérée et la consistance correspondante est évaluée grâce à la distance parcourue par le front de bouillie en 30 secondes d'écoulement.

## 2.8. Analyses microbiologiques

Des analyses microbiologiques ont été effectuées à temps initiale  $T_0$  juste après production, après 3 mois ( $T_3$ ) et 6 mois de stockage ( $T_6$ ). Ces analyses microbiologiques ont été effectuées pour vérifier la conformité des farines en cours de conservation aux normes.

Les microorganismes recherchés sur les produits finis sont : les coliformes fécaux ; les coliformes totaux, les levures et moisissures. Pour la bonne conduite des analyses, la quantité

de farines à utiliser est prélevée aseptiquement dès ouverture de chaque sachet de farine. Le dénombrement des levures et moisissures, des coliformes fécaux, des coliformes totaux a été réalisé comme suit.

- Les coliformes totaux dans la masse et en double couche suivant la norme NF V 08-050 (1999). Le milieu utilisé est le Violet Red Bile Glucose Agar (VRBG, Oxoid CM 0107, Basingstoke, Hampshire, England). L'incubation s'est faite à 44°C pendant 24± 2heures.

Les levures et moisissures ont étéensemencées dans la masse conformément à la norme ISO 21527 : 2008 ; dans un milieu gélosé (Malt Extract Agar). Après solidification complète, les boîtes de Pétri sont retournées et incubées à 30°C pendant 72 heures.

### **Comptage de colonies**

Le dénombrement des microorganismes s'est fait par comptage des colonies dans les boîtes ayant entre 15 et 300 colonies de bactéries et moins de 150 colonies d'entérobactéries conformément à la norme ISO 7218 V2007 (F). Le nombre (N) de germes exprimé en nombre d'Unités Formant des Colonies (UFC) pour 1ml de produit frais est calculé par la formule suivante :

$$N = \frac{\Sigma c}{V \times 1.1 \times d}$$

$\Sigma C$  : est la somme des UFC comptées sur toutes les boîtes retenues de deux dilutions successives, dont une au moins contient au minimum 15 UFC ;

$V$  : est le volume d'inoculum en millilitres, appliqué à chaque boîte ( $V=1\text{ml}$ ) ;

$d$  : dilution à partir de laquelle les premiers dénombrements sont obtenus.

### **2.9. Analyses sensorielles**

Afin de savoir si des modifications se sont produites sur la qualité organoleptique des farines ou si la qualité des farines change au cours de stockage, deux évaluations sensorielles de comparaison sont faites pour comparer chaque fois les farines à zéro temps de stockage ( $T_0$ ) aux farines après 4 mois ( $T_4$ ) de stockage d'une part et 6 mois ( $T_6$ ) de stockage d'autre part mais aussi sur les bouillies préparées à partir des dites farines. Ainsi nous avons adopté la démarche suivante :

Dans le souci de disposer les farines  $T_0$  dans le temps, des échantillons des dites farines sont après emballage et scellage conservés au congélateur à -18°C afin de bloquer les modifications physiques, chimiques et microbiologiques.

30 dégustateurs entraînés et motivés ont été enregistrés pour comparer les farines et bouillies à T<sub>4</sub> et T<sub>6</sub> à la farine de référence T<sub>0</sub> afin d'apprécier l'existence ou non de différence sur l'arôme, le goût, l'odeur de ranci, l'acidité des farines et des bouillies en cours de vieillissement.

Ainsi après 4 mois de stockage une première évaluation sensorielle est faite. A chaque dégustateur les échantillons de farines de 4 mois (T<sub>4</sub>) de conservation ainsi que leur bouillie après codage sont présentés pour être comparés à la référence T<sub>0</sub> afin qu'ils apprécient si oui ou non il y a une différence entre les farines et les bouillies au niveau de chaque attribut.

Une deuxième évaluation sensorielle est faite après 6 mois de stockage avec les mêmes dégustateurs et dans les mêmes conditions

D'autre part au cours chaque séance d'évaluation sensorielle, le dégustateur exprime son appréciation de l'acceptabilité globale des farines/bouillies âgées de 4 mois et 6 mois selon le cas en donnant les notes 0 = mauvais, 1= Peu acceptable, 2= acceptable, 3 = très acceptable Notons qu'à chaque fois et dans le but de réduire les biais, les échantillons sont codés et présentés simultanément dans l'anonymat afin d'empêcher le dégustateur de reconnaître à l'avance la farine à T<sub>0</sub> de la farine à T<sub>4</sub> ou T<sub>6</sub> selon le cas

Le pourcentage du nombre de dégustateurs ayant noté une différence sur les farines par comparaison à la farine de référence T<sub>0</sub> est calculée à chaque temps de vieillissement. L'annexe 1 présente la fiche de collecte des informations.

## **2.10. Analyses statistiques**

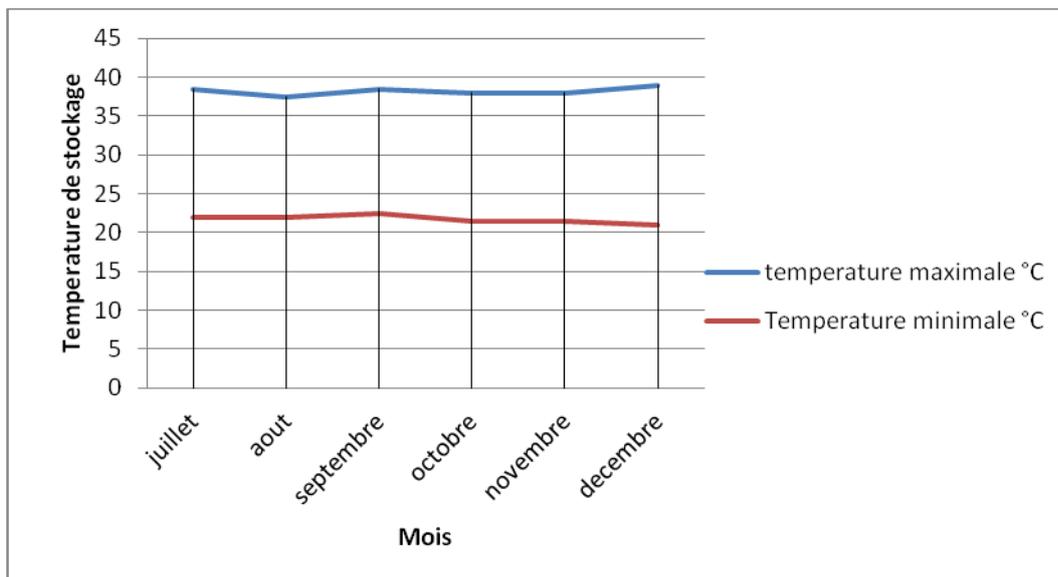
Les moyennes et écarts types ont été calculés grâce à Excel. La comparaison de s moyennes des paramètres physico-chimiques et microbiologiques a été réalisée par une analyse de variance (ANOVA) grâce au Logiciel Minitab 16. Le niveau de signification retenu est de 5%.

### III- RESULTATS ET DISCUSSION

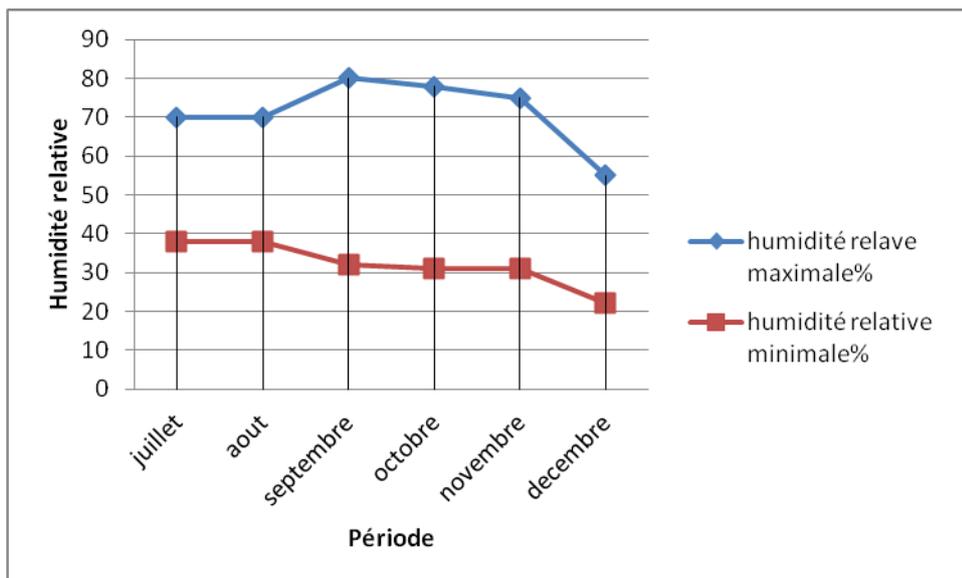
#### 3.1 Evolution de la température et de l'humidité relative du micro environnement au cours du stockage

L'évolution des maxima et minima des mesures mensuelles des Températures (T) et humidité relative (HR) dans le micro-environnement au cours des six mois de stockage des farines sont présentées sur les figures 15 et 16. Il en ressort que les farines stockées sont exposées à une variation de températures fluctuant entre 21°C et 39°C. De même l'humidité relative de l'environnement de stockage est très fluctuante et varie entre 22% et 80%. Le plus fort pic d'humidité relative est enregistré durant le mois de septembre alors que le plus faible est enregistré en décembre.

Ces variations de température et de saturation en vapeur d'eau du micro environnement de stockage sont susceptibles de provoquer selon Mathlouthi (2008) des échanges d'humidité entre le produit et l'atmosphère qui l'entoure, entraînant ainsi une perte de poids ou une humidification préjudiciable à la qualité.



**Figure 15:** Courbe de variation de la température du milieu de stockage des farines formulées



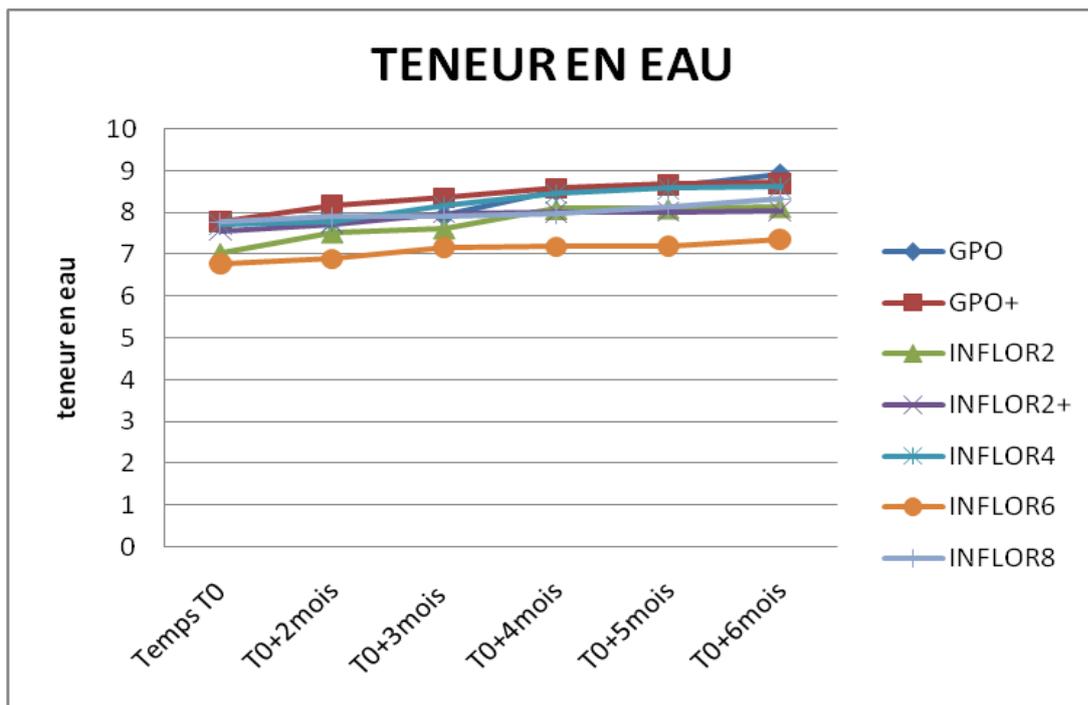
**Figure 16:** Courbe de variation de l'humidité relative du milieu de stockage des farines formulées

### 3.2. Observation physique des farines en cours de stockage

L'observation physique à l'œil nu des farines au cours des 6 mois de stockage nous a permis de noter l'absence de parasites visibles, dans tous les échantillons de farine soumis aux analyses. Aucun changement physique remarquable n'a également été observé au niveau des échantillons. Au total les échantillons sont restés sans dommage physique détectable tout au long des 6 mois de stockage.

### 3.3. Evolution de la teneur en eau au cours du stockage

L'évolution des teneurs en eau des farines au cours du stockage est présentée dans la figure 17.



**Figure 17:** Evolution des teneurs en eau des farines formulées au cours du stockage

La durée de conservation d'un produit est étroitement liée à sa faible teneur en eau (Atalar et Dervisoglu, 2015). La teneur en eau des farines a connu une variation significative au cours du stockage. Cette variation est de l'ordre de 1% au maximum durant les 6 mois de stockage. Notons que cette vitesse d'augmentation de la teneur en eau semble se réduire progressivement dans le temps. Ces observations sont conformes à celles rapportées par Mathlouthi, 2008 qui trouvait que l'échange de vapeur d'eau entre le produit et l'atmosphère qui l'entoure, entraîne une perte de poids ou une humidification préjudiciable à la qualité du produit.

En comparaison aux farines GPO et INFLOR2, les farines GPO+ et INFLOR2+ ont absorbé moins d'humidité. Ceci pourrait s'expliquer par l'effet de l'infusion de gaine de sorgho et son interaction avec les autres constituants qui loin de bloquer cette absorption l'a ralentie.

Une différence significative au seuil de 5% est observée dans la vitesse d'absorption d'eau des formulations à base de maïs et celle à base de sorgho. Les farines GPO et INFLOR8 à base de maïs contrairement aux autres n'ont connu de variation significative de leur teneur en eau qu'après 3 mois de stockage.

Les formulations contenant la poudre de grande morelle sont celles ayant connu les plus faibles absorptions d'eau.

Par ailleurs, Cheffel et Cheffel (1979) ont rapporté que des valeurs de l'activité de l'eau élevée, sont à craindre pour le stockage du produit à cause du rancissement qui pourrait intervenir si l'aliment avait une forte teneur en lipides.

### 3.4. Evolution de la teneur en lipides

Dans leur ensemble toutes les formulations ont une teneur en lipides supérieure à 11% ce qui est conforme aux recommandations de l'OMS qui prescrit pour les farines infantiles des taux supérieurs à 10% pour les lipides (Mouquet-Rivier, 2006). L'évolution des teneurs en lipides au cours des 6 mois de stockage montrent que la teneur en matière grasse n'a pas varié au niveau des formulations durant les 3 premiers mois de stockage mais cette variation est devenue significative au seuil de 5% au niveau des formulations GPO, INFLOR 2 et INFLOR 4 après 3 mois de stockage (Tableau 12). Ce qui veut dire que des modifications ont eu lieu au niveau de la matière grasse contenue dans les farines. Ces modifications s'expliquent conformément aux travaux de Warwick et al. (1979) par des réactions d'hydrolyse et d'oxydation au niveau des acides gras.

**Tableau 12 : Evolution de la teneur en lipides des formulations de farines au cours du stockage**

Teneur en lipide	To	To+3mois	To+6mois
GPO	16,0176 a	15,7712a	16,3830 b
GPO+	12,7769a	13,9397a	13,6907a
INFLOR2	14,6976a	14,7707ab	15,5676b
INFLOR2+	11,6722a	13,1850a	13,3610a
INFLOR4	13,8911a	13,6862a	15,4533b
INFLOR6	15,1787a	15,4533a	15,8096a
INFLOR8	16,452a	15,922a	15,887a
Norme	<b>10&lt;x&lt;25</b>		

NB : Les chiffres portant la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différents au seuil de 5%

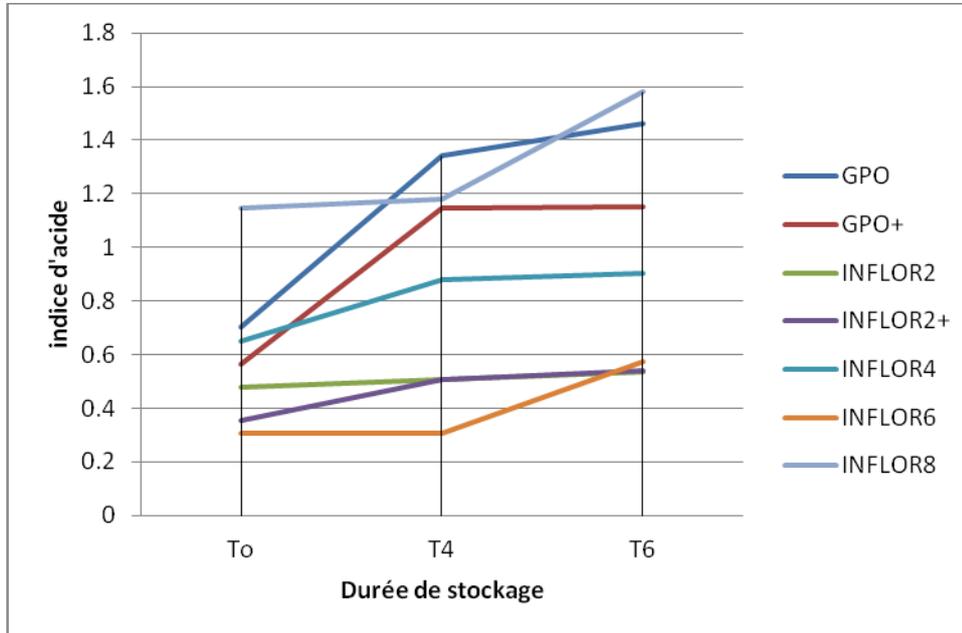
Les formulations GPO+, INFLOR2+ qui contiennent de l'infusion de gaine de sorgho et INFLOR 6, INFLOR 8 qui contiennent de la poudre de Grande morelle n'ont pas connu de

variations significatives de leur teneur en lipides au cours des 6 mois de stockage. Cette tendance est conforme aux résultats des études de Flanzky et Rocquelin (1962) sur les farines de poisson auxquelles on a incorporé des anti oxygènes BHT et Santoquin pour améliorer la stabilité. On peut en déduire alors que l'infusion de gaine de sorgho et la poudre de grande morelle contiennent des substances anti oxygène qui ralentirait la dynamique des phénomènes d'oxydation et d'hydrolyse au niveau de la teneur en matières grasses.

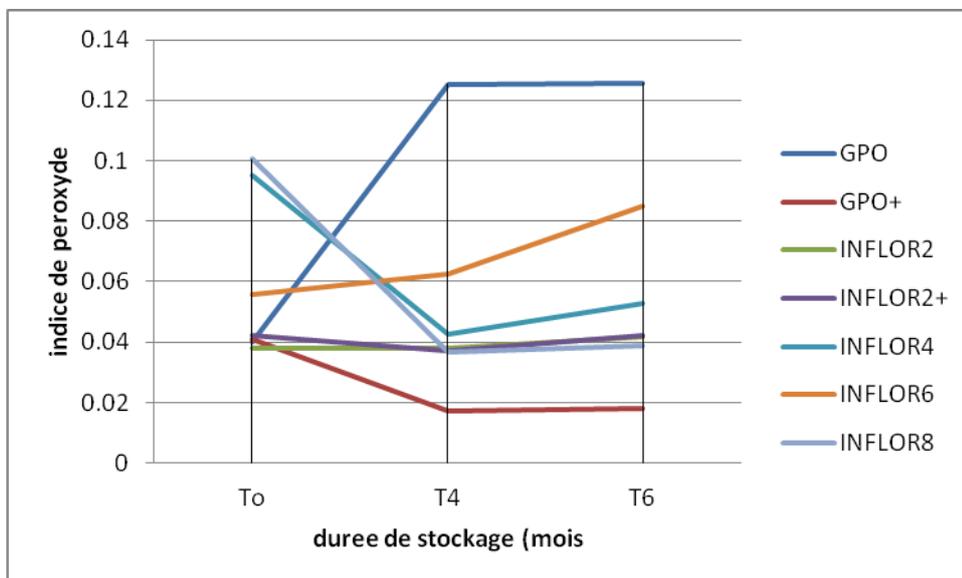
### **3.5- Evolution de l'indice d'acide et de peroxyde**

L'évolution des indices d'acide et de peroxyde des farines en cours de stockage montre une variation de ces indices à T4 et T6 (figures 18 et 19). Ceci explique que des réactions d'hydrolyse et d'oxydation se sont produites simultanément au niveau des farines au cours de stockage. L'évolution des courbes montrent une disparité dans la tendance d'une formulation à une autre laissant ainsi entrevoir que les indices d'acides et de peroxyde sont influencés par la composition en acides gras des farines qui est certainement variables d'une formulation à l'autre et dans le temps. Ces résultats confirment ceux rapportés par Castello et al. (1998), qui après avoir regroupé les acides gras saturés et monoinsaturés d'une part et les polyinsaturés de l'autre sur les farines en cours de stockage, constate que l'augmentation des premiers est plus rapide que celle des seconds ; ceci témoignerait que, parallèlement aux réactions d'hydrolyse, interviennent des réactions d'oxydation des acides gras non estérifiés polyinsaturés. Bellenger et Godon (1972) ont montré que la quantité d'hydroxy-acides et d'hydroperoxydes d'acide gras augmente après 13 semaines de stockage pour des farines conservées dans des conditions aérées. Ces résultats corroborent la légère hausse de la teneur en lipides constatée plus haut.

D'après les travaux de Warwick et Shearer (1980) qui après dosage des quantités d'hydroxyacides et d'hydroperoxydes d'acide gras expliquent qu'une perte en lipides observée suppose que les fractions manquantes correspondent à des composés d'oxydation volatils qui participeraient à l'odeur de rance. Nous en déduisons à priori vu qu'aucune réduction significative de la teneur en lipide n'est constatée au niveau de la dynamique (Tableau 12) qu'un dégagement d'odeur de rance perceptible ne doit pas être constaté au niveau des farines.



**Figure 18 :** Evolution de l'indice d'acide des farines formulées au cours du stockage



**Figure 19 :** Evolution de l'indice de peroxydes des farines formulées au cours du stockage

### 3.6. Evolution de la teneur en protéines au cours du stockage

La détermination de la teneur en protéines brutes est un indice important pour déterminer la valeur nutritive de la farine infantile. L'évolution de la teneur en protéines au cours du

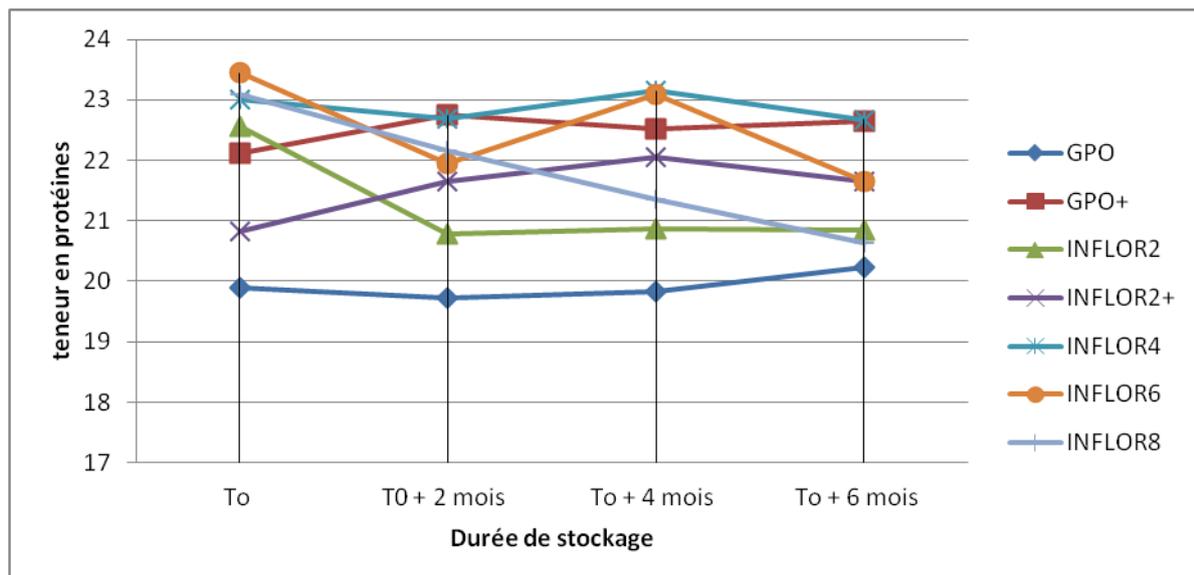
stockage est présentée dans le tableau 13 et sur la figure 20. Il ressort de l'analyse du tableau que globalement toutes les formulations ont une teneur en protéines compris entre 19 et 24% ce qui semble conformes à la norme. La valeur de protéines des farines infantiles recommandée par la FAO/OMS (2008) est de 11-21 g/100g.

L'analyse statistique de l'évolution des teneurs en protéines au cours du stockage montre que quelles que soit les formulations, la teneur en protéines n'a pas connu une variabilité significative au seuil de 5% au cours des 6 mois de stockage. Ces résultats sont conformes à ceux de Jeantet (2013) au cours de ses études sur le stockage du lait en poudre et ceux de Sudha Rao et al, (1978) sur la farine de blé. Cependant, cette absence de variation quantitative significative n'exclut pas l'existence de modification qualitative au niveau des protéines. La détermination de la structure et la présence des aminoacides nous auraient permis de confirmer ou d'infirmier cela.

**Tableau13:** Variation de la teneur en protéines des farines formulées au cours du stockage

<b>Teneur en protéine</b>	<b>To</b>	<b>T0 + 2 mois</b>	<b>To + 4 mois</b>	<b>To + 6 mois</b>
GPO	19,90a	19,73a	19,83a	20,23a
GPO+	22,11a	22,75a	22,52a	22,65a
INFLOR2	22,57a	20,79a	20,878a	20,846a
INFLOR2+	20,83a	21,65a	22,06a	21,65a
INFLOR4	23,01a	22,68a	23,15a	22,67a
INFLOR6	23,45a	21,94a	23,09a	21,66a
INFLOR8	23,10a	22,16a	21,36a	20,63a

**NB :** Les chiffres portant la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différents au seuil de 5%



**Figure 20 :** Courbe d'évolution de la teneur en protéines au cours du stockage

### 3.7. Evolution du pH au cours du stockage

Les résultats des mesures effectuées sur le pH des farines formulées durant les 6 mois de stockage sont présentés dans le tableau 14 ci-dessous

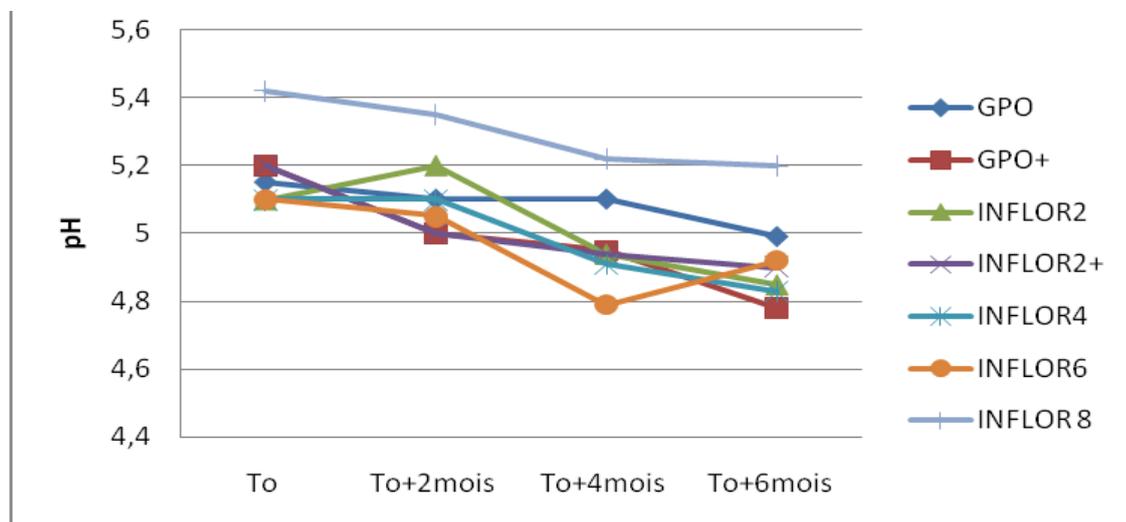
**Tableau 14 :** Variation du pH des farines formulées au cours du stockage

pH	To	To+2mois	To+4mois	To+6mois
GPO	5,15a	5,1a	5,1a	4,99a
GPO+	5,2a	5,0ab	4,95ab	4,78b
INFLOR2	5,1a	5,2b	4,94c	4,85c
INFLOR2+	5,2a	5,0b	4,94c	4,90c
INFLOR4	5,1a	5,1a	4,91c	4,83c
INFLOR6	5,1a	5,05a	4,79b	4,92c
INFLOR 8	5,42a	5,35a	5,22b	5,20b

**NB :** Les chiffres portant la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différents au seuil de 5%

De l'analyse des données il ressort que le pH des différentes formulations a connu une baisse significative ( $p < 0,5$ ) après les 6 mois de stockage (figure 21). Ceci serait certainement due soit à la continuité de l'activité amylasique des résidus d'amylase encore actives dans la farines, soit à l'oxydation des acides gras ou être imputables selon les travaux de Gracza, (1965) aux activités enzymatiques microbiennes.

L'augmentation de la teneur en eau lors du stockage favorise la prolifération des micro-organismes capables à l'aide de leurs amylases, d'hydrolyser l'amidon contenu dans les farines et de faciliter ainsi l'acidification de ces dernières (Sall, 1998).



**Figure 21** : Courbe d'évolution du pH des farines formulées au cours du stockage

### 3.8. Evolution de l'acidité titrable

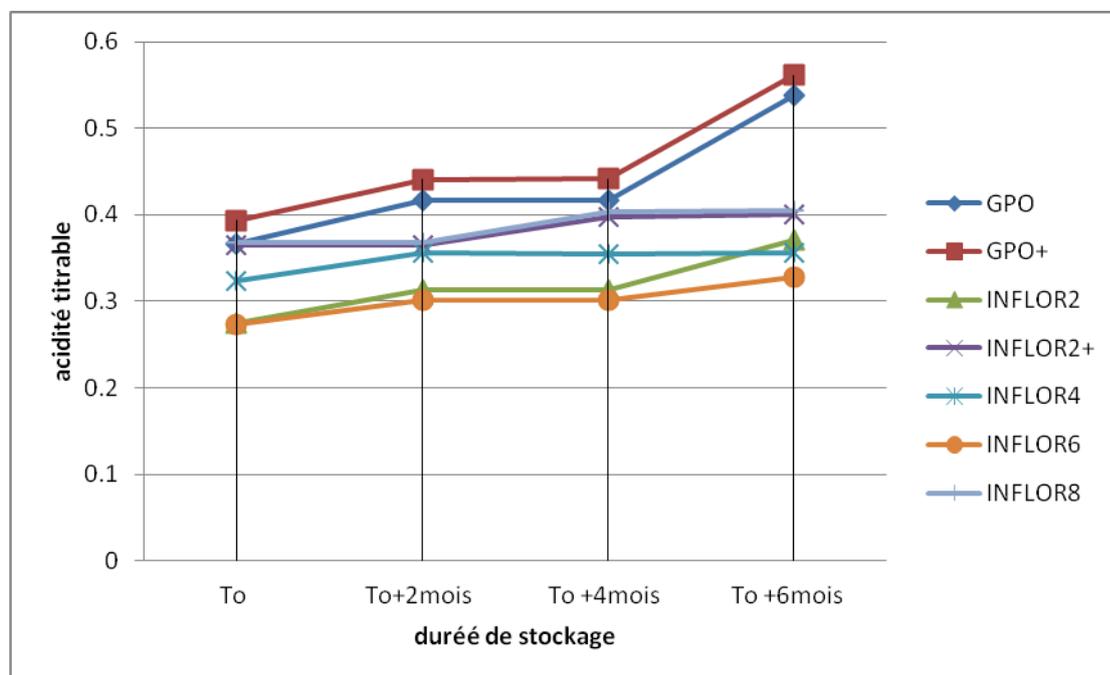
Les résultats des mesures de l'évolution de l'acidité titrable des farines stockées durant 6 mois sont présentés dans le tableau 15 ci-dessous.

**Tableau 15** : Evolution de l'acidité titrable des farines formulées au cours du stockage

Acidité titrable	To	To+2mois	To +4mois	To +6mois
GPO	0,3661c	0,4160b	0,4173b	0,5374a
GPO+	0,3933b	0,4409b	0,4415b	0,5612a
INFLOR2	0,2740c	0,3131b	0,3132b	0,3705a
INFLOR2+	0,3647b	0,3648b	0,3970a	0,4003a
INFLOR4	0,3241b	0,3554a	0,3543a	0,3560a
INFLOR6	0,2728c	0,3012b	0,3018b	0,3280a
INFLOR8	0,3672b	0,3685b	0,4027a	0,4042a

NB : Les chiffres portant la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différents au seuil de 5%

De l'analyse des résultats il ressort que l'acidité titrable a connu une légère augmentation durant les 6 mois de stockage ce qui est en corrélation avec la baisse du pH constatée plus haut au niveau des farines (figure 22)



**Figure 22 :** Courbe d'évolution de l'acidité titrable

Ces résultats sont conformes à ceux de Houssou et al. (2016) qui ont montré que les paramètres physico-chimiques des farines infantiles à savoir l'activité de l'eau, la teneur en eau, l'acidité tritrable augmentent au cours de la période de conservation.

Les formulations à base de maïs GPO et GPO+ ont connu les plus grandes hausses d'acidité tritrable entre le 4<sup>e</sup> et le 6<sup>e</sup> mois de stockage. En comparant les formulations contenant de l'infusion de gaine de sorgho à celles qui n'en contiennent pas, nous n'avons pas noté de différence significative ( $p < 0,5$ ) dans l'évolution de l'acidité tritrable nous pouvons en déduire que l'infusion de la gaine de sorgho n'influence pas l'évolution de l'acidité tritrable.

L'acidification constitue un indice d'altération de la qualité technologique des farines infantiles (Bottier, 2006). Elle est peut-être due à l'oxydation des acides gras polyinsaturés, qui provoque une dégradation enzymatique des lipides catalysés par la lipoxygénase, qui provoque par la suite un réarrangement des liaisons disulfure au sein du réseau protéique.

### 3.9. Evolution de la teneur en cendres

Les résultats des dosages des différentes formulations au cours du stockage sont présentés dans le tableau 16

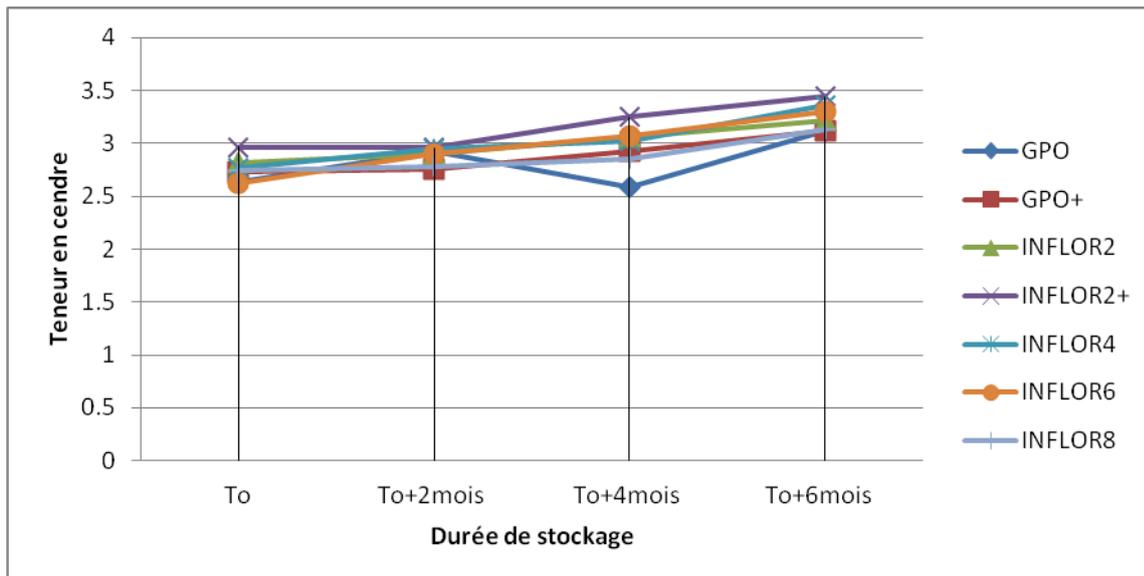
**Tableau 16** : Variation de la teneur en cendres des farines formulées au cours du stockage

Teneur en cendre	To	To+2mois	To+4mois	To+6mois
GPO	2,6361a	2,9271b	2,5804a	3,1231b
GPO+	2,7361a	2,7517a	2,9271ab	3,1231b
INFLOR2	2,8181a	2,9009ab	3,0567ab	3,2134b
INFLOR2+	2,9624a	2,9587a	3,2501b	3,4422 c
INFLOR4	2,7666a	2,9491ab	3,0224b	3,3574c
INFLOR6	2,6205a	2,8943b	3,0637c	3,2963d
INFLOR8	2,7455a	2,7785a	2,8487a	3,1347b

**NB** : Les chiffres portant la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différents au seuil de 5%

L'analyse des résultats montrent que les teneurs en cendres de toutes les formulations sont supérieures à 2.7% ce qui est conforme aux recommandations de Mouquet *et al.* (1998) qui stipulent que les farines infantiles doivent avoir des teneurs en minéraux supérieur à 222 mg/100 kcal.

L'évolution de la teneur en minéraux totaux des farines au cours de stockage a connu contre toute attente une légère augmentation significative avec une moyenne de l'ordre de 0.5% sur toutes les formulations (figure 23). Ceci s'expliquerait par l'effet des activités enzymatiques et microbiennes qui continuent dans les farines en cours de stockage



**Figure 23 :** Courbe d'évolution de la teneur en cendre des farines formulées

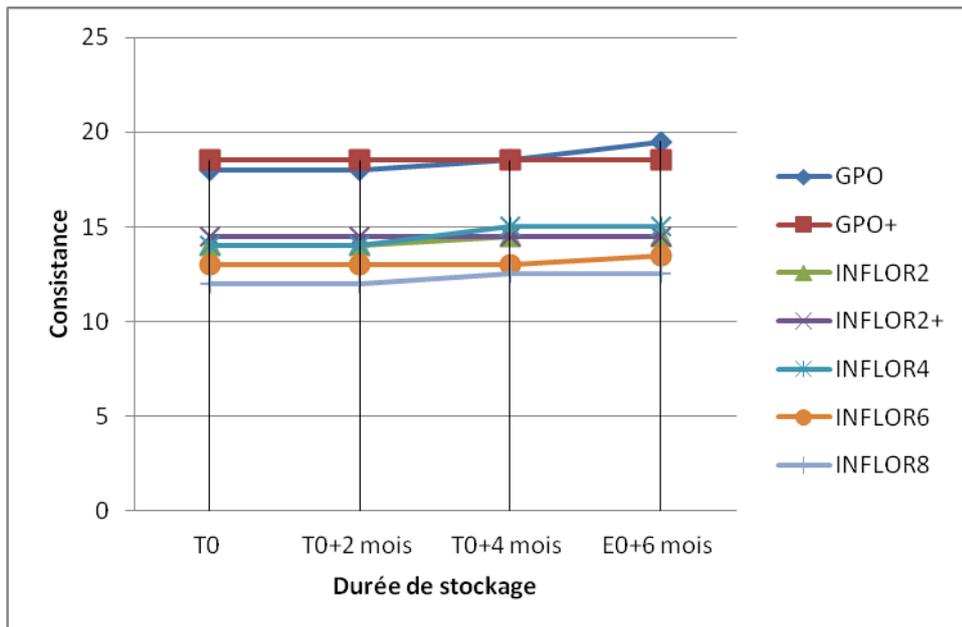
Même si la teneur en minéraux des farines contenant de l'infusion de gaine de sorgho (GPO+ , INFLOR2+) est supérieure au temps To à celles qui n'en contiennent pas (GPO , INFLOR2), aucune différence significative n'est observée dans la tendance de la variation de la teneur en cendres des formulations GPO, GPO+ et INFLOR2, INFLOR2+ . De plus, ces farines présentaient au temps To des teneurs en cendres légèrement supérieures à celles des farines GPO et INFLOR2. Les farines contenant de l'infusion de gaine de sorgho sont donc plus riches en minéraux que celles n'en contenant pas.

La teneur en minéraux des farines connaissent une modification en cours de stockage. Cependant, l'incorporation de l'infusion de gaine de sorgho n'a pas d'influence sur la dynamique de minéraux au cours du stockage.

Etant donné que les minéraux sont nombreux et diversifiés, il serait intéressant qu'une étude ultérieure cherche à savoir quels sont les minéraux qui sont à la base de cette modification de la teneur en cendre

### 3.10. Mesure de l'évolution de la consistance des bouillies

Les mesures effectuées sur la consistance des bouillies préparées à partir des farines donnent les résultats ci-dessous (figure 24).



**Figure 24 :** Courbe d'évolution de consistance des bouillies des farines en cours de stockage

De l'analyse des résultats il ressort que toutes les bouillies préparées à 16% de farine plus 4% de sucre montrent des vitesses d'écoulement acceptables ( $\geq 12$  mm/30s) au temps  $T_0$ . Toutes les formulations présentent globalement des pouvoirs de gonflement acceptables.

Les farines GPO et GPO+ à concentration égale présentent une fluidité supérieure à celle de toutes les autres formulations. Ceci se justifie par la forte composition en malt de maïs de GPO, GPO+ (30% contre 15% pour les autres).

L'observation de l'évolution des résultats pendant le stockage montre que le pouvoir de gonflement de toutes les farines baisse après 4 mois de stockage. La baisse significative au niveau de la farine GPO (30% de malt) semble plus importante que celle des autres (15% de malt). Cette différence pourrait s'expliquer par l'effet de malt au cours du stockage mais aussi des micro-organismes.

Mais notons que les farines contenant de l'infusion de gaine de sorgho n'ont pas connu de variation de leur pouvoir de gonflement après 6 mois de stockage ceci pourrait s'expliquer soit par l'influence de l'infusion de gaine de sorgho ou par l'effet de la potasse contenu dans l'infusion de gaine de sorgho.

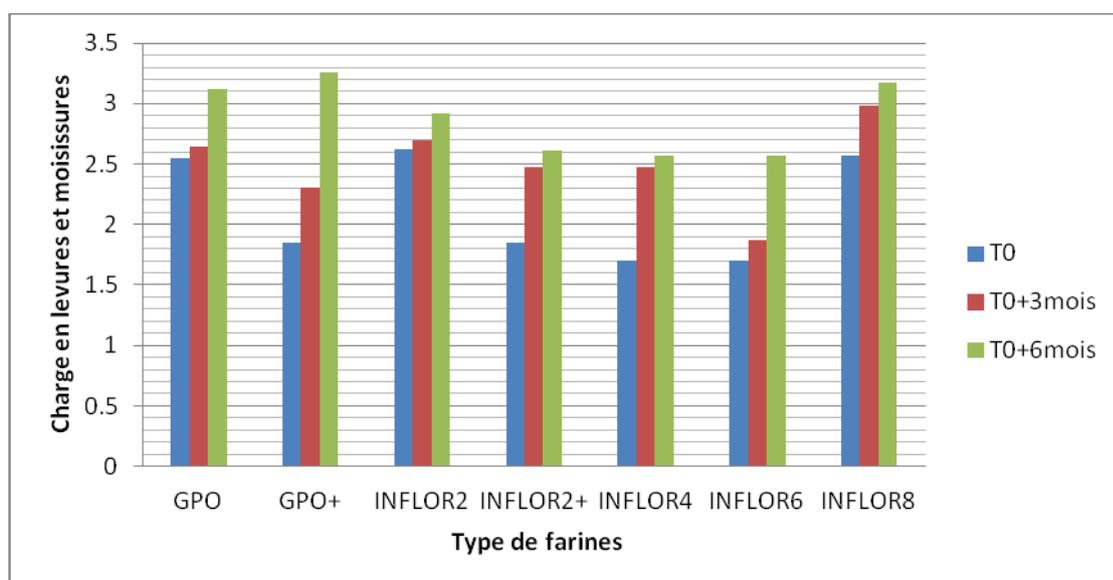
On en déduit alors que le pourcentage de teneur en malt des farines influence leur fluidité au cours du stockage. Ainsi, les bouillies durant 6 mois de stockage présentent une fluidité légèrement supérieure à celle au temps  $T_0$ .

Il y a une corrélation entre la teneur en malt et la vitesse d'évolution de la fluidité en cours de stockage.

De même nous pouvons remarquer que les bouillies des formulations à base de sorgho présentent une fluidité supérieure à celle à base de maïs. Notons que les farines GPO+ et INFLOR2+ présentent une stabilité au niveau de la consistance de leur bouillie jusqu'à 6 mois de stockage. Ceci serait dû à l'apport en matières sèches provenant de l'infusion qui a rendu plus épaisse ces bouillies.

### 3.11. Evolution de la charge des levures et moisissures

Les résultats des analyses sur les différentes farines après 6 mois de conservation sont présentés dans la figure 25 ci-dessous.



**Figure 25** : Diagramme d'évolution de la charge de levures moisissures en cours de stockage

De l'analyse des résultats, il ressort que la charge en levures et moisissures au cours des 6 mois de stockage a évolué de manière croissante au niveau de toutes les formulations et a dépassé la norme au niveau des farines GPO, GPO+, INFLOR 8 qui sont à base de maïs. Ceci s'explique par la rehumidification constatée au niveau de toutes les farines au cours du stockage qui a rendu le milieu favorable au développement des levures et moisissures. Ce constat est conforme à celui de Cahagnier (1998) qui déclare que les grains cassés, fissurés ou moulus (stabilisés définitivement par la chaleur par exemple), perdent leurs défenses naturelles et sont plus vulnérables aux facteurs d'altération et, en particulier, aux microorganismes. Ces résultats sont de plus renforcés par les résultats de Cheftel (1977) qui constatait que de nombreuses moisissures se développent à des pH de 2,0 ou supérieurs à 9,0 ; et les levures entre pH 2,5 et pH 8,5. Rares sont en revanche les bactéries capables de proliférer à des pH inférieurs à 4,5 ou proches de 4,0.

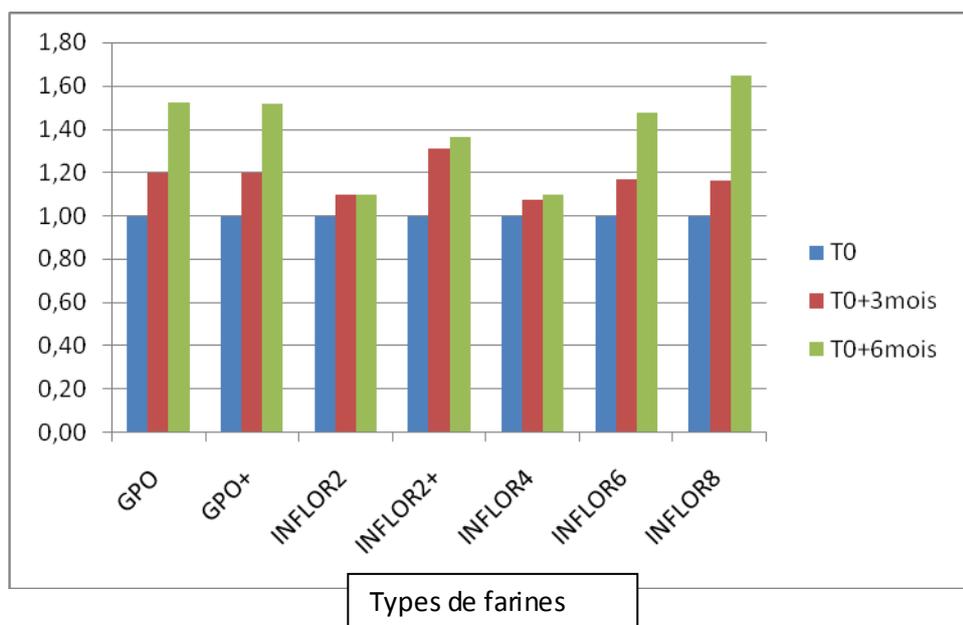
Ces résultats sont contraires à ceux rapportés par Houssou et al. (2016), qui ont observé une régression des germes aérobies mésophiles et des moisissures au cours de la conservation des farines infantiles.

Aucune différence significative n'est notée au niveau des formulations contenant de l'infusion de gaine foliaire de sorgho par rapport à celle n'en contenant pas pour ce qui concerne la charge en levures et moisissures

La charge en levures et moisissures évolue au cours du stockage. L'infusion de la gaine foliaire de sorgho n'a aucun effet sur l'évolution de cette charge.

### 3.12. Evolution de la charge de Coliformes totaux

L'évolution de la charge des coliformes totaux au cours du stockage est présentée dans la figure 26.



**Figure 26 :** Evolution de la charge des coliformes totaux en cours de stockage

Les résultats font remarquer une légère croissance de la charge en coliformes totaux au niveau de toutes les formulations au cours du vieillissement. En dépit de cette augmentation, toutes les formulations présentent des charges en coliformes totaux conformes à la norme après les 6 mois de conservation. Ces résultats corroborent les constats de Houssou *et al.* (2016) qui ont noté l'absence des coliformes totaux dans des échantillons des farines au départ mais après 9 mois, leur présence a été détectée.

Aucune différence significative n'est observée au niveau des formulations GPO, INFLOR et GPO+, INFLOR2+.

On en déduit que l'infusion de sorgho n'influence pas le développement des coliformes dans les farines en cours de stockage.

### 3.13. Analyses sensorielles

Le traitement des résultats issus des tests de dégustation a permis de calculer le nombre des dégustateurs ayant noté une différence en comparant les farines To aux farines à temps T4 et T6 de stockage au niveau de chacun des attributs de qualité que sont l'arôme, le goût, l'acidité et le rancissement. Le nombre des dégustateurs ayant noté une différence entre les farines T0, T4 et T6 sont présentés dans le tableau 17. Le pourcentage des dégustateurs ayant jugé les farines ainsi que les bouillies acceptables et très acceptables sont présentées dans le tableau 18

**Tableau 17 :** Nombre des dégustateurs ayant constatés une différence par comparaison des farines stockées T4 et T6 par rapport à T0

Echantillon	Arôme		Gout		acidité		Rancissement	
	T0/T4	T0/T6	T0/T4	T0/T6	T0/T4	T0/T6	T0/T4	T0/T6
<b>GPO</b>	20a	24b	20a	29b	17a	24b	16a	16a
<b>GPO+</b>	20a	24b	26b	26b	17a	24b	16a	17a
<b>INFLOR2</b>	15a	24b	20a	26b	21a	27b	12a	13a
<b>INFLOR2+</b>	18a	23b	20a	24b	18a	21b	11a	12a
<b>INFLOR4</b>	15a	24b	20a	24b	18a	23b	11a	13a
<b>INFLOR6</b>	16a	25b	18a	24b	18a	24b	11a	14a
<b>INFLOR8</b>	16a	24b	17a	24b	17a	25b	12a	13a

**NB :** Pour chaque attribut, les chiffres portant la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5%

**Tableau 18** : Evolution du pourcentage de dégustateurs ayant jugé les farines acceptables

Echantillons	Evolution pourcentage de dégustateurs ayant jugé les farines acceptables et très acceptables (%)		Evolution du pourcentage de dégustateurs ayant jugé les bouillies acceptables et très acceptables (%)	
	T4	T6	T4	T6
<b>GPO</b>	98,06	92,06	<b>97,74</b>	<b>96,67</b>
<b>GPO+</b>	98,32	93,75	<b>92,07</b>	<b>86,83</b>
<b>INFLOR2</b>	88,66	85,85	<b>83,33</b>	<b>80,97</b>
<b>INFLOR2+</b>	90,33	<b>87,96</b>	<b>93,10</b>	<b>87,39</b>
<b>INFLOR4</b>	77,63	78 ,44	<b>88,97</b>	<b>89,17</b>
<b>INFLOR6</b>	68,57	58,75	<b>79,23</b>	<b>68,17</b>
<b>INFLOR8</b>	62,98	58,99	<b>68,33</b>	<b>65,61</b>

L'analyse des résultats suivant le test binomial à deux queues montre qu'à T4 (c'est-à-dire quatre mois de stockage) aucun changement significatif au seuil de 5% n'est perçu par les dégustateurs par rapport à T0 sur les farines en ce qui concerne l'arôme, l'acidité et le rancissement. Ces caractéristiques ont cependant subi des modifications perceptibles par les dégustateurs au niveau de toutes les farines après 6 mois de stockage. Notons qu'à T4 et à T6 le nombre de dégustateurs ayant perçu de changement au niveau du rancissement par rapport à la farine T0 n'est pas statistiquement significative au seuil de 5%.

Le nombre de personne ayant noté une différence a évolué à la hausse à chaque fois que l'on passe de la comparaison T0/T4 à la comparaison T0/T6 ce qui voudra dire que des modifications sensorielles s'observent et se confirment de plus en plus sur les farines au fur et à mesure que la durée de stockage se prolonge.

Plus de 50% des dégustateurs ont jugés les farines globalement acceptables. Ainsi donc malgré les modifications physico-chimiques et microbiologiques constatées, durant les 6 mois de stockage, aucune des farines n'a atteint la limite de rejet par les dégustateurs.

Les différents résultats suggèrent qu'il serait possible de garder à la température ambiante et dans les conditions de conservation identiques, les farines au-delà de 6 mois de stockage. Ces

résultats sont conformes aux données rapportées par Oumarou., et al. (2012) sur la farine CSB au Niger.

Parmi toutes les farines INFLOR6 à T6 et INFLOR8 à T6 sont les moins acceptées probablement en raison par la présence de la grande morelle qui a changé le goût et la couleur des produits. Une comparaison des résultats entre GPO et GPO+ d'une part et INFLOR2 et INFLOR2+ d'autre part a permis de constater, à temps identique, une réduction sensible du nombre de dégustateur ayant noté une différence au niveau du rancissement et une augmentation du taux d'appréciation globale des farines INFLOR2+ par rapport à INFLOR2. Nous en déduisons que l'infusion de la gaine foliaire de sorgho aurait un effet inhibiteur sur le processus de rancissement des farines INFLOR2 et améliore l'acceptabilité globale des-dites farines.

## CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Il ressort de la présente étude que les farines formulées dans leur ensemble ont subi des modifications au niveau de leurs caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques au cours du vieillissement. Les vitesses d'évolutions des modifications varient en fonction du temps et de la formulation.

Aucune des formulations de farines soumises au stockage n'a atteint le seuil de modifications physico-chimiques et microbiologiques les rendant non conformes aux normes durant les 6 mois de conservation. Cependant, la charge de levures et moisissures a dépassé la norme recommandée par la FAO à 6 mois de stockage.

Du point de vue sensoriel, les dégustateurs ont constaté des variations au niveau de l'arôme, du goût, de l'acidité et du rancissement de toutes les formulations de farines durant les 6 mois de stockage. En ce qui concerne l'acceptabilité globale des farines, même si le pourcentage d'appréciation des farines diminue dans le temps, nous avons constaté qu'à 6 mois de stockage toutes les formulations ont obtenu un pourcentage d'appréciation globale supérieur à 58,75%, restant ainsi dans la limite de l'acceptable communément fixé au seuil 50%.

Il est également apparu que les farines contenant de l'infusion de gaine florale de sorgho sont plus riches en minéraux que celles n'en contenant pas suggérant que la gaine florale de sorgho peut être une source d'amélioration de la teneur en minéraux. Mais il serait intéressant qu'une étude soit faite pour déterminer les types de minéraux qu'elle peut fournir

D'autre par l'ajout de l'infusion de gaine de sorgho a ralenti la dynamique de modification de la teneur en eau, en lipides, mais n'a aucune influence sur l'évolution des levures, moisissures et coliformes au cours du stockage.

Au total, toutes les farines formulées ont vieilli dans le temps mais n'ont pas atteint la limite du rejet ou de l'inacceptable durant les 6 mois de stockage.

Nous suggérons pour la suite que des études plus approfondies soient menées afin d'identifier la durée de vie de chaque formulation de farine mais aussi d'étudier la dynamique et le principe d'influence de la gaine foliaire de sorgho colorant sur cette durée de conservation.

## Références bibliographiques

- Aboubakar, 2009. Optimisation des paramètres de production et de conservation de la farine de taro (*Colocasia esculenta*). Thèse de doctorat. Spécialité : Sciences alimentaires et Nutrition/ Procédés Biotechnologiques et Alimentaires.
- Anigo K.M., Ameh D.A., Ibrahim S. and Danbauchi S.S., 2010. Nutrient composition of complementary food gruels formulated from malted cereals, soybeans and groundnut for use in North-western Nigeria. *African Journal of Food Science*, 4, 65–72.
- Adom, K.K., Liu, R.H., 2002. Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6182–6187.
- Ambula M.K., Oguho G.W., Tuitoek J.K., 2001. Effects of sorghum tannins, a tannin binder (polyvinylpyrrolidone) and sorghum inclusion level on the performance of broiler chicks. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 14, 1276–1281.
- Atalar I, Dervisoglu M., 2015. Optimization of spray drying process parameters for kefir powder using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology* 60:751-757.
- CAHAGNIER B., 2002 Le stockage à plat des céréales pour une durée indéterminée : Guide des bonnes pratiques du GLCG
- Bottier C., 2006. Caractérisation des puroindolines, des galactolipides du blé et de leurs interactions : mesures physiques aux interfaces. Thèse de Doctorat en Sciences de la matière. Université de Rennes 1. N° d'Ordre : 3345. France.
- Bruyeron O., Monquet C. et Treche S., 1998. Caractéristiques d'une bonne farine infantile. *Bulletin du réseau PTA*, 15, 9 - 11.
- Casagrande M., David C., Valantin M., Makowski D. and Jeuffroy M.H., 2009. Factors limiting the grain protein content of organic winter wheat in south-eastern France : a mixed-model approach. *Agronomy for Sustainable Development*. 29(3) : 565-574.
- Cheftel J.C., Cheftel H., 1979. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments, Volume 1. Technique et documentation Lavoisier, Paris, 381 pp.
- Delacharlerie, S., Poncelet, C., Chene, C., & Sindic, M., 2012. Évaluation de l'impact de 6 matières grasses (palme et non-palme) sur les caractéristiques instrumentales et sensorielles d'une matrice de type cake. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 19(2), 101-110.
- Dupont C., 2005. La diversification alimentaire, *Cah. Nutr. Diét.* 40, 5 : 250-253.

- Evelyne O., 2014. Accelerated Shelf Life Evaluation of Instant Noodles Made with Fortified Flour
- FAO, 1995. Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine, collection FAO Alimentation et Nutrition N°27
- FAO, 2012. Technologies combinées de conservation des fruits et légumes. <http://www.Fao.org>, consulté le 30/6/15.
- FAO/OMS, 2008. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Commission du Codex Alimentarius : Rapport de la 30<sup>ème</sup> session du comité du codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime. Rome (Italie), p 1-223.
- Feillet P., 2000. Le grain de blé, composition et utilisation. INRA Editions. 24.
- Jeantet R., Croguennec T., Schuck P. et Brule G., 2006. Sciences des aliments Biochimie-Microbiologie-Procédés-Produits ». Ed. Tec et Doc Lavoisier, Paris.453 p.
- Giamarchi P., Trèche S., 1995. Fabrication de bouillies de sevrage de haute densité énergétique à base de manioc. In Agbor Egbe T., Brauman A., Griffon D., Trèche S., éd : Transformation alimentaire du manioc, Paris, Orstom, Coll. Colloques et séminaires : sous presse.
- Lanouari S., Nasser B., El Haddoury J. and Bencharki B., 2015. Caractérisation physico-chimique des graines de blé tendre (*Triticum aestivum*) sous traitement herbicide par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique. International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 10 No, pp. 604-620.
- Legueriel I., 2014. Détermination des dates limites de consommation. Institut Universitaire Technologie de Quimper, Département de Biologie. Cours de formation en Industrie Agro-Alimentaire. Paris, (2014) 50 p.
- Liu C.Y. and Shepherd K.W., 1995. Inheritance of B subunits of glutenin and gliadins in tetraploid wheats. Theor. Appl. Genet. 90(2), 1149-1157.
- Manna M.C., Swarup A., Wanjari R.H., Mishra B. and Shahi D.K., 2007. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. Soil Tillage Res. 94(4), 397-409.
- Mok C., 1997. Mixing properties of durum wheat semolina as influenced by protein quality and quantity. Food and Technology. 6 (1), 1-4.
- Mouquet C., Bryeron O. et Treche S., 1998. Caractéristiques d'une bonne farine infantile. Bulletin du réseau TPA. 15 : 8-11. 47 p.

- Mouquet-Rivier C., 2006. L'alimentation de complément de jeunes enfants au Burkina Faso. Journée portes ouvertes du « CIRDC », centre IRD de Ouagadougou. Présentation de power point. 1-59.
- Nago M., 2012 Evaluation de la qualité nutritionnelle des farines infantiles fabriquées et vendues au Bénin Thèse pour l'obtention du grade de docteur en pharmacie
- Othmen L., 2007. Etude rhéologique et microbiologique d'une farine traitée par irradiation. Mémoire d'ingénieur.
- Otteson B.N., Mergoum M. and Ransom J.K., 2007. Seeding rate and nitrogen management effects on spring wheat yield and yield components. *Agronomy Journal*. 99(3), 615-621.
- Ouzouline M., Tahani N., Elamrani A. et Serghini H., 2009. Comparaison de la composition lipidique de grains de blé dur et blé tendre de variétés marocaines. *Les technologies de laboratoire*. 9-15.
- Oumarou Diadie H., Doudou H. M., 2012. Etude de la stabilité et de l'acceptabilité du CSB (Corn-Soya Blend) au Niger
- Ponka R., Abdou Bouba A., Fokou E., Beaucher E., Piot M. Leonil J. and Gaucheron F., 2015. Nutritional composition of five varieties of pap commonly consumed in Maroua (Far-North, Cameroon). *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, vol. 65, pp. 183–19.
- SALEM S., 2008 - Etude de l'effet de l'irradiation de la farine de blé sur ses propriétés microbiologiques et sur la rhéologie des pâtes obtenues (Projet de Fin d'Études Pour l'obtention du Diplôme National d'Ingénieur Filière : Bio-industrie
- Sall K., 1998. Contrôle de qualité des farines céréalières mises sur le marché au Sénégal. Thèse pour obtenir le grade de docteur en pharmacie, université Cheikh Anta Diop de Dakar, faculté de médecine de pharmacie et d'odonto-stomatologie.
- Sanogo M., Mouquet C., and Trèche S., 1994. La production artisanale de farines infantiles, *Expériences et Procédés*. Gret, Paris, France, p 11.
- Tran T.S. and Tremblay G., 2000. Recovery of <sup>15</sup>N-labeled fertilizer by spring bread wheat at différent N rates and application times. *Canadian Journal of Soil Science*. 74 : 279-285.
- Trèche S., de Benoist B., Benbouzid D., Vertser A., Delpeuch F., 1995. L'alimentation de complément du jeune enfant, Actes d'un atelier OMS/Orstom inter-pays, du 20 au 24 novembre 1994 à l'Université Senghor, Alexandrie (Égypte), Paris, France.

- Zannou Tchoko V.J., Bouaffou K.G.M., KOUAME K.G. et Konan B.A., 2011. Etude de la valeur nutritive de farines infantiles à base de manioc et de soja pour enfant en âge de sevrage. Bulletin de la société royale des Sciences de Liège, Vol. 80, p. 748 – 758.

## **ANNEXES**

**Annexe 1 : Fiche d'évaluation sensorielle de bouillies des farines infantiles (phase 2)**

**1- Informations générales sur le ou la dégustateur (rice)**

Nom et prénoms :		Fiche N° :
Contacts :		Date :
Niveau éducation		Sexe :

**2- Test d'évaluation de la qualité organoleptique des produits : test de comparaison**

Examinez chacun des paires d'échantillons de farines et bouillies qui vous sont présentées. Veuillez examiner minutieusement et répondez par OUI ou NON s'il y a une différence pour chaque caractéristique.

Dans la colonne acceptabilité globale donnez par 0, 1, 2 ou 3 votre appréciation sur l'acceptabilité globale des farines ou bouillie dont le numéro est indiqué dans le casier

0= mauvais      1 = Presque acceptable      2 = acceptable      3= très acceptable

Lots	Code	Farine				
		Arome	Goût	Acidité	Rancissement	Acceptabilité globale
01	222					133
	133					
	427					382
	382					
	680					200
	200					
	864					512
	512					
	397					918
	918					
	735					812
	812					
	503					248
	248					

Lots	Code	Bouillie				
		Arome	Goût	Acidité	Rancissement	Acceptabilité
02	927					649
	649					
	099					596
	596					
	185					299
	299					
	618					142
	142					
	914					795
	795					
	944					944
	323					
	109					325
	325					

**Annexe 2 : Evolution des teneurs en eau des farines en cours de stockage**

<b>Echantillon</b>	<b>Temps T0</b>	<b>T0+2mois</b>	<b>T0+3mois</b>	<b>T0+4mois</b>	<b>T0+5mois</b>	<b>T0+6mois</b>
<b>GPO</b>	7.8053b	7.8069b	7.9226b	8.5231a	8.6440a	8.9314a
<b>GPO +</b>	7.7887c	8.1824b	8.3646ab	8.5852a	8.6716a	8.7125a
<b>INFLOR 2</b>	7.0278c	7.5164b	7.6117b	8.0817a	8.0971a	8.1271a
<b>INFLOR 2+</b>	7.5624c	7.7325b	7.9771a	7.9995a	8.0041a	8.0318a
<b>INFLOR 4</b>	7.7240c	7.7843bc	8.1633abc	8.4562ab	8.5743a	8.6090a
<b>INFLOR 6</b>	6.7695c	6.8950bc	7.1661ab	7.1856ab	7.1996ab	7.3659a
<b>INFLOR 8</b>	7.7661b	7.8962b	7.8938b	7.9635ab	8.1075ab	8.3182a

**Source : Adjadogbedji, B. 2017**

**Annexe 3 : Variation de la consistance des farines formulées au cours du stockage**

<b>Consistance des bouillies cm/s</b>	<b>T0</b>	<b>T0+2 mois</b>	<b>T0+4 mois</b>	<b>T0+6 mois</b>
GPO	18	18	18.5	19.5
GPO+	18.5	18.5	18.5	18.5
INFLOR2	14	14	14.5	14.5
INFLOR2+	14.5	14.5	14.5	14.5
INFLOR4	14	14	15	15
INFLOR6	13	13	13	13.5
INFLOR8	12	12	12.5	12.5
Norme	≥ 12			

**Annexe 4: Résultats d'évolution de la charge de levures moisissures en cours de stockage**  
**Source : Adjadogbedji,B. 2017**

<b>Levures et moisissures (Log CFU)</b>	<b>T0</b>	<b>T0+3mois</b>	<b>T0+6mois</b>
GPO	2.6422a	2.54406a	3.1222b
GPO+	1.8494a	2.30103b	3.2612c
INFLOR2	2.6261a	2.69897a	2.9164b
INFLOR2+	1.84509a	2.6087b	2.4771b
INFLOR4	1.6989a	2.47712b	2.574c
INFLOR6	1.6989a	1.87506b	2.574c
INFLOR8	2.5682a	2.9777b	3.2572c
Normes	< 10 <sup>3</sup>		

**Annexe 5: Résultats d'évolution de la charge en coliformes totaux en cours de stockage**  
**Source : Adjadogbedji,B. 2017**

<b>Coliformes totaux s (Log CFU)</b>	<b>T0</b>	<b>T0+3mois</b>	<b>T0+6mois</b>
<b>GPO</b>	<b>1.0 a</b>	<b>1.2a</b>	<b>1.623b</b>
<b>GPO+</b>	<b>1.0a</b>	<b>1.2a</b>	<b>1.518b</b>
<b>INFLOR2</b>	<b>1.0a</b>	<b>1.1a</b>	<b>1.1a</b>
<b>INFLOR2+</b>	<b>1.01a</b>	<b>1.309b</b>	<b>1.3617b</b>
<b>INFLOR4</b>	<b>1.0a</b>	<b>1.072a</b>	<b>1.1a</b>
<b>INFLOR6</b>	<b>1.0a</b>	<b>1.1706a</b>	<b>1.477b</b>
<b>INFLOR8</b>	<b>1.0a</b>	<b>1.1622a</b>	<b>1.645b</b>
<b>Normes</b>	<b>&lt; 10<sup>2</sup></b>		

f