

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République algérienne démocratique et populaire
Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Saad Dahleb Blida « 1 »



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département Sciences Alimentaires

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en
Spécialité : Sécurité Agro-alimentaire et assurance de qualité

Filière: Sciences Alimentaires

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Thème :

**Contribution à la fabrication des pâtes alimentaires sans gluten
à base de Maïs et Riz**

Réalisé et présenté par :

- LARBI AISSA Ikhlef
 - DEN DEHBI Sid Ali
 - DAHMANI Tahar
- Soutenu le. 17 / 07 /2022

Devant le jury composé de:

- | | | |
|------------------------|-----------------------------|------------|
| - Dr. MEZIANE | Université de Blida 1 | Présidente |
| - Mr. AMALOU D. | Université de Blida 1 | Examineur |
| - Dr. BENLEMENE Samira | M.C.B.Université de Blida 1 | Promotrice |

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

Notre première gratitude va au tout puissant ALLAH ﷻ, qui nous a accordé la vie, la bénédiction et la force à fin d'accomplir ce travail. A toutes personne dont il a mis sur notre chemin dans les coulisses et qui ont contribués de loin ou de près à la réalisation de ce modeste travail.

Tout d'abord, on tient à remercier notre promotrice, **Dr BENLEAMMANE. S**, qui nous a orientée dans le choix de notre thème et guidée nos pas dans la détermination des hypothèses et de leurs mises en œuvre afin d'atteindre les résultats probants.

Nos vifs remerciements vont aux membres de jury qui ont bien voulu accepter de juger ce travail ; **Dr. MEZIANE**, pour l'honneur qui nous a fait de présider le jury ; nos remerciements vont également au **Mr. AMALOU Det Dr. REMDANE S**, qui a aimablement accepté d'examiner ce travail.

Ce projet a pu voir le jour grâce au concours indéfectible de différentes institutions scientifiques. Ainsi nous remercions vivement **le Président Directeur Général de la Société SIM** pour son accord à la réalisation de formulation des pâtes alimentaires. Par ailleurs, on tient à remercier l'ensemble des ingénieurs de laboratoire et ainsi que l'ensemble du personnel, pour leur convivialité.

Toute notre gratitude à tous nos enseignants qui nous ont formées de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Nous tenons également à remercier infiniment toutes les personnes qui, de près comme de loin on put contribuer à ce que cette expérience soit un succès et un enrichissement personnel.

Merci à vous tous

Dédicace :

Je dédie cet humble travail à : Avant tout, à mes parents et à toute ma famille

Et au Dr BENLEMENE Samira, qui a supervisé ce travail, ainsi qu'à mes camarades de classe et autres.

car ils ont eu un grand rôle pour nous motiver à terminer le parcours académique.

Enfin, nous n'oublions pas non plus les personnes qui ont contribué à nous aider de loin ou de près.

SID ALI

Dédicace :

L'homme a été trouvé sur la face de la terre, et il n'a pas vécu isolé du reste de l'humanité

À toutes les étapes de la vie, il y a des gens qui méritent nos remerciements

Les premières personnes à remercier sont les parents; A cause de leur grâce qui atteint le ciel;

Leur présence est une raison de survie et de prospérité dans ce monde et dans l'au-delà.

A ma femme et compagne dans la lutte sur le chemin de la vie, et à mes chers fils (Rehana, Yasser, Zakaria)

A mes amis à qui je témoigne qu'ils sont les meilleurs compagnons en toutes choses.

Tahar

Dédicace :

L'homme a été trouvé sur la face de la terre, et il n'a pas vécu isolé du reste de l'humanité

À toutes les étapes de la vie, il y a des gens qui méritent nos remerciements

Les premières personnes à remercier sont les parents; A cause de leur grâce qui atteint le ciel;

Leur présence est une raison de survie et de prospérité dans ce monde et dans l'au-delà.

A ma femme et compagne dans la lutte sur le chemin de la vie, et à mes chers fils (Abderrahmane , Oussama et Sara)

A mes amis à qui je témoigne qu'ils sont les meilleurs compagnons en toutes choses sen particulier Tayeb, Yousef, Nadhir, Hamza.

IKHLEF

Résumé :

En Algérie , les patients cœliaques se plaignent d'un manque d'aliments sans gluten . L'objectif principal de cette étude est de produire des pâtes de type spaghetti sans gluten sue la base de trois formules à base de : 100 % Maïs, 100 % riz et un mélange 50 % maïs + 50 % Riz. Nous avons effectué une comparaison des propriétés physiques, chimiques et technologiques des 03formules avec les pates témoin à base de 100% blé dur

La méthode traditionnelle utilisé pour la fabrication des pâtes a négativement influencé sur la qualité organoleptique des produits finis notamment le manque du vide lors de l'étape de malaxage et le manque de contrôle des paramètres physiques de séchage a conduit a l'oxydation des pigments caroténoïdes ce qui a donné des pâtes coloration brune fragile et sensible a la casse . Le manque de pression d'extrusion de pâtes a travers la tréflière a un impacte directe sur la déformation du produit fini. Les temps de cuisson des 03formules est plus réduite par rapport a celui de des témoin. Les perte à la cuisson dans l'ensemble des pâtes fabriquée est plus élevée que celle fabriquée a base de blé dur. les pâtes fabriquées a 100 % Maïs ont un goût amer qui s'amélioré après l'addition de la semoule de Riz.

Mot clé : malades cœliaque, Maïs, Riz, gluten, pâte, paramètres physico-chimique, paramètres technologique. Témoin. Pellets

Abstract :

- In Algeria, celiac patients complain of a lack of gluten-free foods. The main objective of this activity is to produce gluten-free spaghetti-type pasta from three formulas based on: 100% corn, 100% rice and a mixture of 50% corn + 50% rice. We evaluated the physical, chemical and technological properties of the raw materials as well as the final product. Unfortunately the traditional method used laying the manufacture of pasta directly influenced the organoleptic quality of the finished product such as the lack of vacuum which led to the oxidation of carotenoid pigments which gave pasta fragile and sensitive to breakage. The lack of pasta extrusion pressure through the clover has a direct impact on the deformation of the finished product. The cooking times are shorter compared to that of the controls. I The loss on cooking in all the pasta manufactured is higher than that manufactured by the 3SE. the addition of rice semolina

Key word: celiac patients, corn, rice, gluten, dough, physico-chemical parameters, technological parameters.control.pellets

المخلص :

في الجزائر ، يشكو مرضى الاضطرابات الهضمية من نقص الأطعمة الخالية من الغلوتين. الهدف الرئيسي من هذا النشاط هو إنتاج معكرونة خالية من الغلوتين من ثلاث صيغ على أساس: 100% ذرة ، 100% أرز ومزيج من 50% ذرة + 50% أرز. قمنا بتقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والتكنولوجية للمواد الخام وكذلك المنتج النهائي. لسوء الحظ ، أثرت الطريقة التقليدية المستخدمة في تصنيع المعكرونة بشكل مباشر على الجودة الحسية للمنتج النهائي مثل عدم وجود فراغ مما أدى إلى أكسدة أصباغ كاروتينويد مما جعل المعكرونة هشة وحساسة للكسر. يؤثر نقص ضغط العجين من خلال القالب تأثيراً مباشراً على تشوه المنتج النهائي. تكون أوقات الطهي أقصر مقارنة بأوقات طهي السميد العادي وهذا نظرا للطريقة المتبعة في إنتاج هذه العجائن (الطهي على البخار). I إن الخسارة في الطهي في جميع أنواع المعكرونة المصنعة أعلى من تلك التي يتم تصنيعها بواسطة SE3. العجائن المصنعة 100% من الذرة له طعم مر يمكن تحسينه بإضافة سميد الأرز .

كلمات مفتاحية : مرض الاضطرابات الهضمية. الذرة. أرز. الخصائص الفيزيائية-الكيميائية.

الخصائص التكنولوجية. الكريات

SOMMAIRE

Résumé

Introduction

A -Partie bibliographique

Chapitre I : La maladie cœliaque

I-1. Définition.....	02
I-2. Epidémiologie.....	02
I-3 La physio pathogénie.....	03
I-4. Formes de la maladie cœliaque	04
a) Classique (typique.....	04
b) Atypique	04
c) Silencieuse	04
d) Latente	04
e) Réfractaires	04
I-5. Complication.....	05
I-6. Traitement : régime sans gluten	05

Chapitre II : Le gluten

II-1. Généralité.....	07
II-2.Définition	07
II-3. Caractéristiques du gluten	08

Chapitre III : Le Riz

III-1. Généralité.....	09
III-2. Classification du Riz	09
III-3. Structure du grain de Riz.....	10
III-4. Traitement du Riz.....	11
A- Usinage	11
B- L'étuvage	12
III-5.Valeur nutritionnelle	12
III-6. La qualité culinaire du Riz	13
III-7. Les facteurs antinutritionnels	14

Chapitre IV : Le Maïs

IV-1. Historique	15
IV-2. Description de la plante	15
IV-3-Variétés.....	16
IV-4- Structure du grain de Maïs et distribution en poids des Principales parties du grain	17
IV-5- Composition chimique des diverses parties du grain de Maïs	17
IV-6- Composition chimique approchée.....	18
A- Amidon	19

B- Protéines	19
C -Huile et acides gras	20
D-Fibres alimentaires	21
E- Sels minéraux	22
F- Vitamines	23
F-1-Vitamines liposolubles.....	23
F-2-Vitamines hydrosolubles	24
IV-7- Valeurs nutritionnelle.....	24
IV-8-Formes de consommation du Maïs	25
A-Dans le domaine alimentaire	25
B-Dans le domaine de l'alimentation du bétail	27
B-1-Pour les tiges et rafles	27
B-2-Pour le grain	28
IV-9-Des records de production de Maïs.....	28
Chapitre V : le blé	
V-1- Généralités sur la culture du blé dur	30
V-1-1 Classification botanique	30
V-1-2 Morphologie du grain de blé dur.....	30
V-1-3- Structure du grain de blé.....	30
a- L'albumen	30
b- Les enveloppes.....	31
c- Le germe.....	31
V-2- Composition chimique et biochimique du grain de blé	31
Chapitre VI: les pâtes alimentaires	
VI-1- Définition.....	34
VI-2- Classification des pâtes alimentaires	34
a- Pâtes pressées ou tréfilées.....	34
b- Pâtes laminées	34
c- Pâtes alimentaires sèches.....	35
d- Pâtes alimentaires fraîches.....	35
VI-3- Constituants de la pâte Semoule	35
VI-4- Procédé de transformation des semoules en pâtes	36
a- Hydratation / malaxage	36
b- Formage ou façonnage	36
VI-5- Structuration des constituants des pâtes au cours de procédé de fabrication	38
a- Phase d'hydratation et de malaxage	38
b- Phase de façonnage	38
c- Phase de séchage	39
VI-6- Rôle des constituants biochimiques dans la qualité culinaires des pâtes alimentaires	39
a- Rôle des protéines	39
b- Rôle des lipides.....	40
VI-7- Interaction des lipides avec les constituants du grain.....	41
VI-7-1-Interaction lipide – fraction protéique	41

VI-7-2- Interaction lipide – amidon	41
VI-8-Qualité des pâtes alimentaires.....	41
a- Qualité organoleptique	42
b- Qualité culinaire des pâtes alimentaires	42
c- Qualité hygiénique	42
d- Qualité nutritionnelle	43

B. Partie Expérimentale Univers SIM

Historique	44
Secteur industriel	44
Secteur de la santé	44
Secteur de la construction	44
Secteur de l'enseignement de la formation.....	44
Participation et partenariat du group	44
Effectif global de groupe	45
La capacité de production de l'usine.....	45

CHAPITRE I :

I. Objectif de la pratique	46
----------------------------------	----

CHAPITRE II :

II-Matériels et méthode	47
II-1 Matériel végétale	47
a) Le gritz de Maïs	47
b) Le Riz.....	47
c) La semoule de blé dur (3SE) : « le témoin »	47
II-2 Préparation de semoule	47
a- essai de broyage et purification des semoules	47
II-3 Les analyses effectuées sur la matière première	50
a - Détermination de la teneur en eau	50
b - Détermination de la teneur en cendres.....	50
c - Détermination de la teneur en eau	51
d - Détermination de la teneur en protéines	52
e- Détermination de taux d'affleurement (granulation)	55
f- Détermination de l'acidité grasse	56
Méthode de détermination de l'acidité grasse dans les farines et les semoules de blé.....	56
1. DEFINITION	56

2. Principe.....	56
3. Réactifs.....	56
4. Appareillage	57
5. Conditions de conservation.....	57
6.Mode opératoire	57
7.Expression des résultats.....	59
g- Mesure de la couleur.....	59
<i>h- Mesure de la teneur en gluten</i>	61
a. Gluten humide.....	62
b.Gluten sec.....	62
II-4 Les analyses effectuées sur l'eau de fabrication	
Détermination de titre alcalimétrique(T.A)	64
a- Détermination de titre alcalimétrique complet (T.A.C)	64
b- Détermination de teneur en chlorure	64
c. Détermination de TH : (AFNOR, 1986).....	65
d- Détermination du pH.....	66
II-5 Choix du type de pâtes à fabrication.....	66
II-6 Essai de fabrication des pâtes alimentaires (spaghetti).....	67
II-6-1. Préparation des pellets.....	67
a - Hydratation et malaxage.....	67
b - pré-cuisson.....	68
c - production des pellets.....	68
II-6-2 Mise en forme.....	68
II-6-3. Séchage.....	68
CHAPITRE III :	
III .Appréciation de la qualité du produit fini « spaghetti »	70
III .1 Aspect de produit fini « spaghetti ».....	70
III-2.Teneur en eau de produit fini « spaghetti ».....	71
III-3.Qualité culinaire du produit fini « spaghetti».....	72
a).Etat de l'eau.....	73
b).Consistance de la pâte.....	73

c).Indice de gonflement (Poids à la cuisson).....	73
---	----

CHAPITRE IV :

IV – Résultats et discussion.....	75
IV-1. Analyses physico-chimiques des matières premières.....	76
a) Teneur en eau.....	76
b) Teneur en cendres	76
c) Taux de protéines	76
d) Teneur en matière grasse	77
e) Acidité grasse.....	77
f) <i>La couleur</i>	77
g) <i>Essai de granulation</i>	78

CHAPITRE VI

VI. QUALITES ORGANOPTIQUES.....	84
IV-2 .Produit fini.....	84.
IV-2-1 . Aspect des pâtes alimentaire à l'état cru.....	84
IV-2 .2 La teneur en eau.....	86
IV-2-3 .Qualité culinaires des pâtes alimentaires (spaghettis).....	87
Conclusion	90

Introduction

La maladie cœliaque ou -intolérance au gluten- est une entéropathie auto-immune induite par l'ingestion de gluten chez des sujets génétiquement prédisposés (DENERY PAPINI Et al, 2001 ; MATUCHANSKY et al, 2004). La maladie cœliaque est causée par des protéines de réserve, les prolamines (gliadine, sous-unité du gluten de blé), contenues dans certaines céréales et leurs hybrides (blé, orge, seigle et probablement l'avoine) (HEKENS, 1993 ; MATUCHANSKY, 2004). Les manifestations se produisent quelle que soit la forme d'utilisation des céréales. Les effets délétères sont divers : malabsorption de nombreux éléments nutritifs (fer, acide folique, calcium, vitamines liposolubles, protéines), retard de croissance chez les enfants, risque d'ostéoporose chez les adultes. Lorsque la maladie cœliaque n'est pas traitée, les risques à long terme de lymphomes, cancers de la bouche, du pharynx, de l'œsophage sont significativement augmentés (ANCELLIN et al. 2004).

En Algérie, les malades cœliaques souffrent d'un manque d'aliments sans gluten de consommation courante. Sur le marché, les produits alimentaires importés pour cette tranche de population sont onéreux, pas à la portée de tous et ne subviennent pas à la demande. Les majorités des aliments souhaités par les malades sont notamment des aliments traditionnels locaux, non disponibles sur le marché ou trop chers (BENATALLAH et al. 2004). Conscients des difficultés d'application du régime sans gluten, et du risque de perte de la convivialité voire l'exclusion sociale des malades,

Cette étude constitue une étude comparative de spaghetti sans gluten produits à partir des céréales sans gluten le maïs et de riz (selon un procédé de fabrication des pâtes traditionnel adapté) avec des spaghetti de blé dur.

Cette étude se fixe comme objectif la caractérisation des propriétés culinaires, sensorielles et nutritionnelles des pâtes sans gluten et la comparaison à celles de pâtes à 100% de blé dur.

A - partie bibliographique

I-1 Définition:

Le mot cœliaque signifie littéralement l'abdomen. Cœliaque vient du mot latin Coeliacus, qui vient du mot grec koiliakos. Koilia en grec signifie l'abdomen. Aux Etats-Unis, la maladie est écrite « Celiac » tandis qu'en Grande-Bretagne elle est écrite «Coeliac» (THOMPOSON, 2008).

La maladie cœliaque est une entéropathie auto immune chronique induite par le gluten chez des sujets génétiquement prédisposés (LAMIREAU et CLOUZEAU, 2013). Elle se traduit par une atrophie de la muqueuse du grêle proximal, régressive après exclusion alimentaire du gluten de blé et des prolamines équivalentes des autres céréales réputées toxiques : seigle et orge (CLOT et al, 2001), (MOUTERDE et al. 2008).

I-2 Epidémiologie:

Un nombre énorme d'études a récemment prouvé que la maladie cœliaque est l'un des désordres perpétuels les plus communs affectant l'homme dans beaucoup de zones du monde (CATASSI et FASANO, 2008 ; ROSTAMI et VILLANACCI, 2009).

La prévalence de la maladie a été estimée à environ 0,5 % -1 % dans différentes régions du monde (NAIJYANA et al, 2012), elle varie d'un pays à l'autre en raison de facteurs génétiques et environnementaux (JADOUL, 2003). Elle a augmenté brusquement ces dernières années en raison d'une meilleure identification de la maladie et de ses désordres associés (MARY et NIEWINSKY, 2008).

Cette maladie touche surtout les populations d'Europe du Nord, ainsi que celles d'Afrique du nord (GEORGIA MALAMUTE et al ,2015). Des estimations de sa fréquence parmi les personnes d'origine européenne varient entre 1 sur 300 et 1 sur 500. Parmi les Irlandais la prévalence atteindrait 1 sur 132, tandis que la prévalence moyenne au Royaume-Uni serait de 1 sur 100 (ROSTOM A et al ,2006) (GEORGIA MALAMUTE et al ,2015).

La maladie est exceptionnelle chez les noirs africains, les chinois et les japonais (CELLIER,2001). Les populations ayant une alimentation historiquement sans gluten (depuis plus de 2 ou 3 millénaires) sont moins touchées comme dans la corne de l'Afrique , ou bien en Asie - plus précisément en Extrême-Orient - où la population locale consomme principalement du Riz.(DONALD et al, 2000). Dans l'Est algérien, la prévalence de la maladie cœliaque en 2003 était de 1,4‰ à Guelma, 1,7‰ à Mila et 0,88‰ à Khanchela. La prévalence moyenne calculée sur les trois villes est au moins 1,33‰ (BENATALLAH, 2009).

Certaines sources font état de plus de 500 000 personnes atteintes de la maladie cœliaque Algérie, communément connue par « Intolérance au gluten » (Mercredi 21 juin 2017 site: Algérie - maladie cœliaque)

La maladie cœliaque a deux pics de fréquence, avec une révélation soit dans

la petite enfance, le plus souvent entre six mois et deux ans, c'est-à-dire après l'introduction du gluten dans le régime alimentaire, soit à l'âge adulte, le plus souvent entre 20 et 40 ans.

Les formes à révélation tardive (après 65 ans) ne sont cependant pas rares (**DDONALD .D et al, 2000**)

Les femmes sont plus atteintes que les hommes (**WINGREN CJ et al, 2012**), à raison de 2 à 3 pour 1 (**CELLIER, 2001**).

I-3 La physio pathogénie :

La cœliaque se situe au carrefour entre auto-immunité et désordre génétique. Il s'agit d'une réponse immunitaire anormale à certains peptides contenus dans le gluten. Le gluten est une protéine de stockage que l'on trouve dans le blé, l'orge et le seigle. Durant les étapes de digestion, le gluten est fragmenté en peptides de taille variable qui ont tous un potentiel immunogène. La gliadine est l'un des peptides contenus dans le gluten survivant aux étapes de digestion et ayant la capacité de passer à travers l'épithélium digestif et stimuler le système immunitaire sous-jacent. L'affinité de la gliadine est fortement augmentée par des modifications biochimiques apportées par la transglutaminase tissulaire de type 2 (TTG2) 1 (**MALAMUTE, 2012**).

Chez des individus génétiquement prédisposés (HLA-DQ2/DQ8), les résidus glutamines de la gliadine ingérée sont convertis en glutamates sous l'effet de la transglutaminase tissulaire (étape 1). La gliadine modifiée est prise en charge par les cellules présentatrices de l'antigène (porteuses des molécules HLA-DQ2/DQ8) et active des cellules T CD4+ spécifiques du gluten (étape 2). Ces cellules produisent de l'interféron γ (IFN γ) et de l'interleukine 21 (IL-21) et aident à générer des réponses =anticorps spécifiques du gluten et de la transglutaminase (étape 3). L'IFN γ et l'IL-21 induisent une production massive d'IL-15 (étape 4). L'IL-15 active les lymphocytes intra épithéliaux qui tuent les cellules épithéliales (étape 5). La destruction des cellules épithéliales conduit à l'atrophie des villi intestinaux (figure1) (**MALAMUTE 2012**).

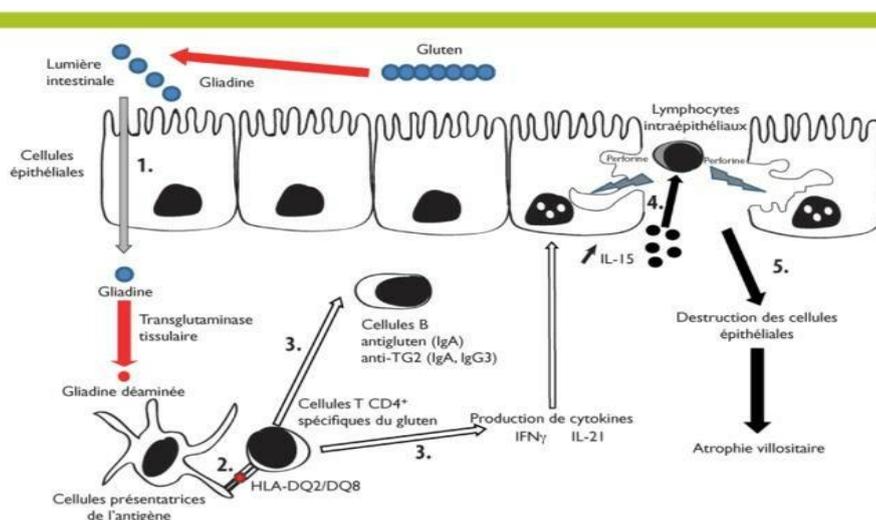


Figure 1. Pathogénèse de la maladie cœliaque

I-4 Formes de la maladie cœliaque :

Cinq phénotypes de la maladie sont identifiés (ROSTOM et al. 2006 ; PWELL ,2008 ; SCHMITZ et GARNIER-LENGLINE, 2008) :

a- Classique (typique)

Patients présentant des signes et des symptômes de malabsorption ou de malnutrition.

b- Atypique :

Patients présentant les maladies et les désordres énumérés, ou avec contre stature, infertilité, histoire d'avortement ou des bébés de bas poids de naissance.

c-Silencieuse

Patients sans symptômes ou maladies gastro-intestinale associées à la maladie cœliaque. Cette forme est caractérisée par des sérologies positives et une atrophie villositaires de sévérité variable.

d-Latente :

Patients qui sont asymptomatique, la sérologie positive sont isolées et la muqueuse intestinale étant morphologiquement normale avec parfois seulement une augmentation de la proportion des lymphocytes intra-épithéliaux .la maladie est bien porteur des gènes HLA DQ2/DQ8.

e-Réfractaires

Maladies cœliaques ne répondent pas à un régime sans gluten et sont sujets pour développer une duodéno-jéjuno-iléite ulcéralive ou des lymphomes.

Le modèle de l'iceberg (figure2) illustre l'existence de formes atypique, silencieuses, et même latentes, plus fréquentes que la forme typique (FERGUSON et al, 1993) (WEST et al, 2007)

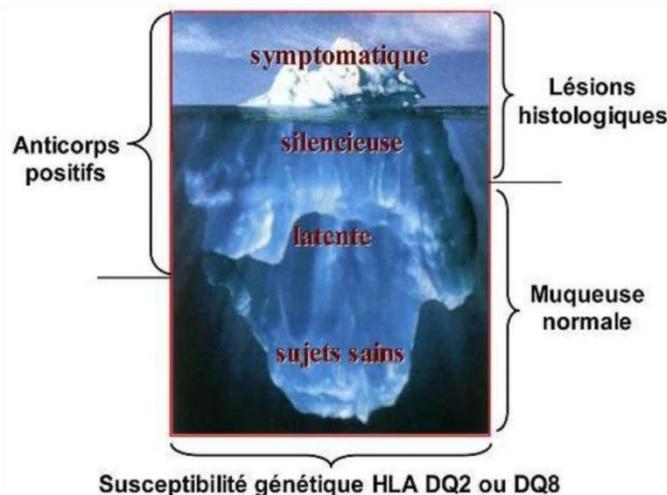


Figure (2). Le modèle de l'iceberg proposé pour la maladie cœliaque. (Gruz, 1999).

I-5 Complication :

La plupart des recherches identifient la maladie cœliaque comme un désordre multi- systémique. Ceci signifie qu'il peut avoir un effet sur différents systèmes du corps (BOWER et al. 2007). Les complications de la maladie cœliaque sont nombreuses et diverses, nutritionnelles (retard de croissance chez l'enfant, dénutrition, carences vitaminiques), hématologiques (anémie), osseuses (ostéoporose fracturaire), gynécologiques (troubles de la fécondité), cardiovasculaires (coronaropathie et thromboses veineuses), neurologiques (neuropathie périphérique), et hépatiques (cytolyse, cirrhose). La maladie cœliaque est associée à un sur-risque de maladies auto- immunes (diabète type I, thyroïdites) et surtout de cancer (cancer des voies digestives supérieures, carcinome hépatocellulaire, lymphomes). Sur le plan digestif, les principales complications sont la colite microscopique et la sprue réfractaire, marquée par une résistance au régime sans gluten. Celle-ci peut s'accompagner d'une hyper lymphocytose intra épithéliale monoclonale (sprue réfractaire de type II), véritable lymphome cryptique dont le risque évolutif est le lymphome T invasif, qui complique une maladie cœliaque sur 1000. Le régime sans gluten à vie protège en grande partie de la survenue de la plupart des complications et corrige la surmortalité associée aux complications (**j.patbio, 2011**)

I-6 Traitement : régime sans gluten :

Le but global du traitement dans la maladie cœliaque est de soulager les symptômes, d'obtenir une régression des lésions de la muqueuse intestinale, de corriger les anomalies biologiques, et de prévenir le risque des complications néoplasiques à long terme notamment celui de lymphome intestinal.

Le traitement actuel de la maladie cœliaque repose sur un régime sans gluten à vie. Ce régime permet dans la plupart des cas d'obtenir la guérison clinique, la normalisation histologique et de prévenir les complications.

Le régime sans gluten consiste à supprimer de l'alimentation tous les ingrédients contenant l'une des céréales toxiques : le blé, le seigle et l'orge. Ces céréales seront substituées par d'autres céréales comme le Riz ou le Maïs.

Le régime sans gluten signifie une élimination complète du gluten de l'alimentation car même des traces peuvent être toxiques.

La dose quotidienne de gluten « tolérable » n'est pas définie et elle varie sûrement d'un patient à l'autre. Mais elle est certainement très basse, de l'ordre de plusieurs milligrammes de gluten (10 à 100mg) par jour, qui pourraient être consommés a priori sans danger (**AKOBENG et THOMAS ,2008**).

D'après le codex alimentaire de l'organisation mondiale de la sante (Codex Alimentarius), un produit peut être déclaré sans gluten s'il provient:

- ✓ D'une céréale dont la prolamine n'est pas toxique (Riz, soja, Maïs, sarrasin, millet).
- ✓ D'une céréale potentiellement toxique, mais dont la teneur résiduelle en azote

après traitement ne dépasse pas 50mg /100g des pois sec, soit 10mg de gliadine pour 100 g de poids secs.

✓ D'un amidon préparé à partir de graines de céréales contenant moins 0.3% de protéines dans l'extrait sec (CEGARRA, 2006).

Le régime sans gluten est parfois difficile à mettre en place. Un suivi avec un diététicien ou un médecin nutritionniste peut aider au démarrage d'une alimentation sans gluten. Il est en effet essentiel de respecter ce régime pour améliorer sa qualité de vie. Différentes initiatives permettent aujourd'hui de faciliter le quotidien des malades. Aujourd'hui, différentes gammes de produits sans gluten sont disponibles en supermarchés ou magasins bio mais il faut rester vigilant au quotidien, notamment lorsque l'on mange en communauté (cantine, restaurants...) ou que l'on fait ses courses.

Des examens de contrôle seront sûrement mis en place par le spécialiste, il s'agit en général de prises de sang, de biopsie de l'intestin grêle ainsi que l'observation des effets du régime sans gluten sur l'organisme. Avec une bonne prise en charge et des conseils, vous vous sentirez mieux et apprendrez à bien vivre avec cette intolérance (JACQUELINE et al, 2019).

Tableau 1 : Les aliments autorisés et non autorisés dans un régime sans gluten (KUPPER, 2005)

Céréales, amidons et farines non autorisés dans un régime sans gluten	Céréales, amidons et farines autorisés dans un régime sans gluten
<ul style="list-style-type: none"> ● Orge ● Son ● Boulgour ● Couscous ● Farine à blé dur ● Epeautre ● Emmer ● Farro ● Gluten, farine de gluten ● Farine complète ● Kamut ● Avoine ● Seigle ● Semoule blé dur ● Eprautre ● Triticale ● Germe de blé l'amidon de froment, farine de son ● Tout aliment contenant du blé 	<ul style="list-style-type: none"> ● Amarante ● Arrow-root (marante) ● Farine d'haricots ● Sarrasin ● Mais ● Pois chiche ● Millet ● Farine montina ● Farine de noix ● Avoine (pure) ● Fécule de pomme de terre ● Quinoa ● Riz de toutes sortes ● Farine de sorgo ● Farine de soja ● Tapioca ● Farine de teff

II-1 Généralité :

Les matières protéiques végétales produites contenant au moins 50% de protéines sur matière sèche délipidée, présentent des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles dont les applications sont variées en alimentation humaine ou animale.

Le gluten de blé occupe une place importante parmi les protéines végétales d'une façon générale, les utilisations potentielles des protéines isolées sont à trois types de propriétés : les propriétés nutritionnelles, biologiques et fonctionnelles. Ces derniers dépendent de la structure macromoléculaire des protéines, leur poids moléculaire élevé et leurs aptitudes à développer des interactions avec l'eau. Les lipides ou d'autres protéines. Ainsi les propriétés viscoélastiques du gluten expliquent son utilisation en panification.

II-2 Définition :

Qu'est ce que le gluten?

« Le gluten de blé est un complexe de protéines (gliadines et gluténines) associées à des glucides et lipides. Il représente en moyenne 10% du poids sec de la farine » (DACOSTA, 1986). En moyenne, le gluten a par rapport au poids sec, la composition suivante :

Tableau N°2 : composition moyenne du gluten

	% de matière sèche	
Protéines dont :		75
Gliadines	40	
Gluténines	37	
Hydrates de carbone dont :		16
Amidon	09	
Sucre réducteurs	05	
Cellulose	02	
Lipides		08
Matières minérales		01
Total		100

II-3 Caractéristiques du gluten :

Le gluten vital de blé possède des propriétés viscoélastiques uniques qui découlent de celles de ses constituants des interactions qui s'établissent entre eux. Ce sont ces propriétés qui permettent de panifier la farine de blé. Les interactions lipides-protéines interviennent dans les propriétés de la pâte de même que la complexation des lipides avec l'amidon intervient de façon significative dans le processus de panification, notamment lors du pétrissage de la pâte la faible solubilité du gluten s'explique par sa très forte teneur en glutamine et la faible polarité de l'ensemble de ses acides aminés. Son taux de protéines polaire ne s'élève qu'à 10% contre 30 à 45% pour la plupart des protéines alimentaires.

❖ Le gluten est insoluble en milieu aqueux ce qui lui limite son utilisation alimentaire de PH 6 à PH 9, sa solubilité est minimale car la cohésion de son réseau est alors la plus forte et la viscoélasticité y est la plus puissante.

❖ Le gluten a une humidité relative > 70%, milieu humide, il s'imprègne d'eau et sa réhydratation devient très lente au point de le rendre

Les gliadines sont plus stables et leur extractibilité ne baisse qu'à partir de 100°C le chauffage modifie les protéines des ponts disulfures sont créés pour former des liaisons intermoléculaires entre glutinines et les liaisons intramoléculaires des gliadines sont sans doute réarrangées. Lors du refroidissement. Ces ponts stabilisent les protéines dans leur état dénaturé et rendent le processus irréversible. Le gluten dévitalisé peut alors être utilisé comme liant dans diverses préparations alimentaires. La valeur nutritionnelle du gluten est assez faible, notamment à cause de sa déficience en lysine. Elle équivaut de deux tiers de celle des caséines et aux trois quarts de celle des protéines de soja.

Les constituants protéiques du gluten : les gliadines et les glutenines.

(KSARDA et al, 1971) cité par POPINEAU et al, 1991)

III-1 Généralités

Le Riz est une céréale de la famille des poacées. Il existe deux grands espèces cultivées : *Oryzasativa* et *Oryzaglaberrima*(COYEN et MASTER, 2017).

Le Riz (*Oryzasativa L.*) est culture céréalière la plus importante dans le monde en développement et il constitue la denrée alimentaire de base de plus de la moitié de la population du globe. Le Riz généralement considéré comme une graminée annuelle semi-aquatique. Une vingtaine d'espèces du genre *Oryza* ont été identifiées, mais la presque totalité du Riz cultivé est de l'espèce *Oryzasativa L.* En Afrique, on cultive de petites quantités de *Oryzaglaberrima*, qui est une espèce pérenne. La plante dite « Riz sauvage » (*Zizania aquatic*), cultivée dans la région des Grands lacs aux Etats-Unis, est apparentée plus étroitement à l'avoine qu'au Riz. (BIENVENIDO, 1994).

III-2 Classification du Riz :

Le comité de la Codex Alimentarius propose une classification de Riz usiné selon la longueur et le rapport longueur /largeur du grain (Codex Alimentarius, 1995) :

- Riz à grain moyen : a une longueur moyenne du grain de plus 6.0 mm et un rapport longueur /largeur 3 ou plus.
- Riz à grain moyen : a des graines d'une longueur supérieure à 5.2 mm mais inférieure ou égale à 6.0 mm et un rapport longueur/largeur de moins 3.
- Riz à grain court : a des grains d'une longueur moyenne de 5.2 mm ou moins et un rapport longueur /largeur de 2.

Selon les traitements effectués sur les enveloppes des grains de Riz, on distingue (JULIAONO 1994 ; LE GOFF 1997) :

- Le Riz paddy : c'est Riz qui n'a subit aucune opération technologique après sa récolte.
- Le Riz cargo : c'est Riz paddy débarrassé de ses balles plus ou moins adhérentes

III-3 Structure du grain de Riz :

La connaissance de la structure du grain est capitale pour comprendre le choix des procédés utilisés en matière de transformation du Riz.

A la récolte, le Riz est vêtu appelé paddy ou le grain encore entouré de ses glumes (ou balles). Sa transformation nécessite d'abord une élimination de ces enveloppes extérieures pour récupérer le Riz brun (appelle aussi Riz cargo) puis une usure du péricarpe et du germe pour obtenir le Riz blanc, forme sous laquelle il est le plus souvent consommé. (GRUZ, 2005)

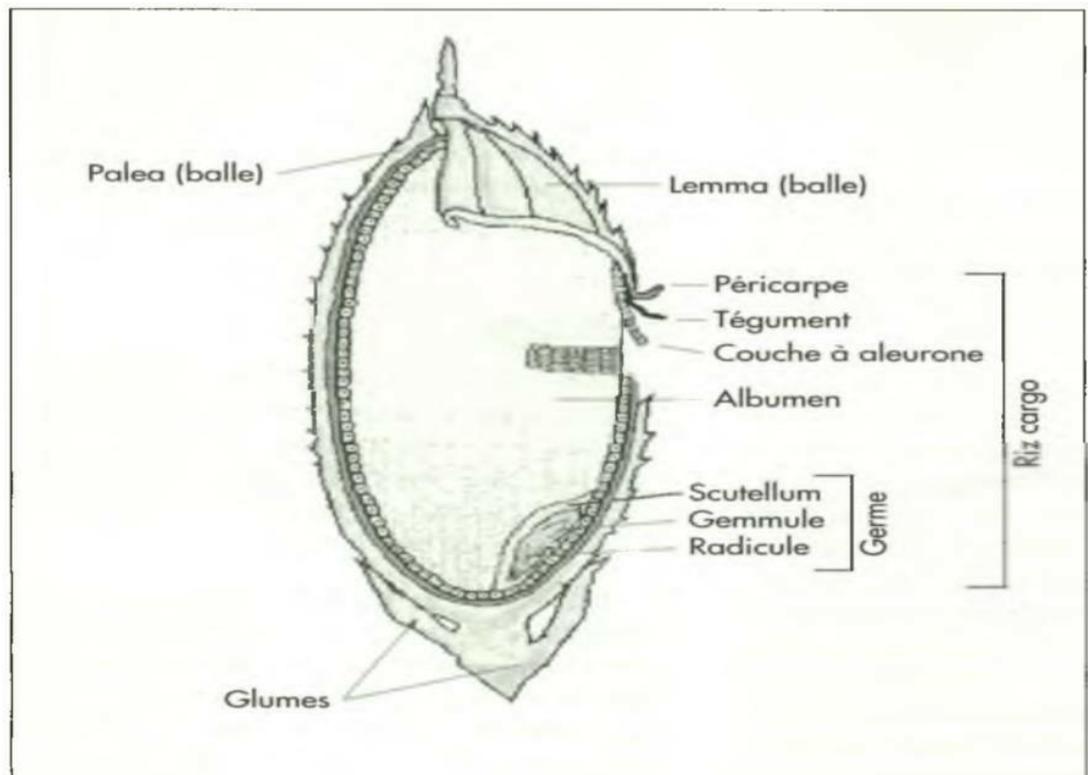


Figure (3).Structure du grain de Riz.(Gruz,1999).

III-4 Traitement du Riz :

a- Usinage

Pour pouvoir être consommé, le grain de Riz vêtu « Riz paddy » doit être séparé de ces balles par décortiquage ; au cours de cette opération on obtient du « Riz décortiqué » ou « Riz cargo » ou « Riz brun » et un sous produit, les balles (figure4).

Après décortiquage, le Riz est très souvent soumis au blanchiment qui a pour effet de retirer les différentes couches du péricarpe ainsi que les téguments séminaux, la couche à aleurone et le germe pour partie. On obtient ainsi le « Riz blanchi » ou « Riz blanc » et un sous produit, les issues ou les farines de blanchiment. Au cours de ce traitement, des grains de Riz se fragmentent en proportion plus ou moins élevée, produisant des brisures. On regroupe l'ensemble de ces opérations sous le terme d'usinage (MOHTADJI- LAMBALLAIS, 1989 ; ALARY et LAIGNELET, 1999; BIENVENIDO, 1994).

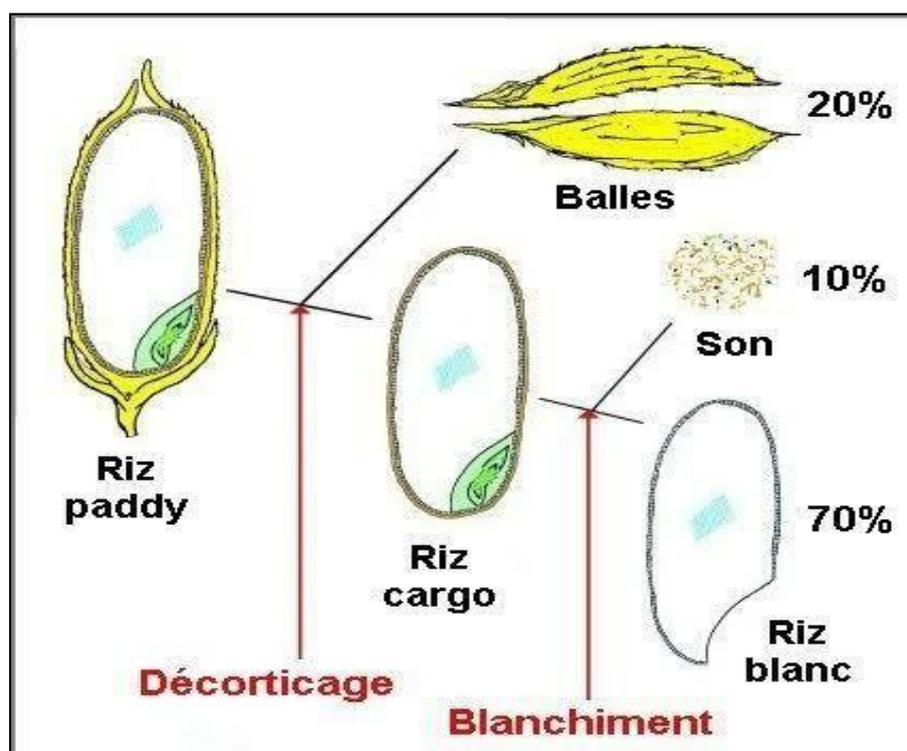


Figure (4) : Usinage de Riz (GRUZ ,2005)

b- L'étuvage

L'étuvage est une technologie appliquée au Riz paddy. L'étuvage améliore également la qualité nutritionnelle et qualité culinaire du Riz. (GRUZ, 2005). Cette procédure consiste en un trempage préliminaire et le paddy dans l'eau, puis un passage à la vapeur, et en fine séchage. L'étuvage entraîne une gélatinisation de l'amidon et désintégration des fractions protéiques, facilitant ainsi leur digestibilité en plus, il provoque une migration des vitamines, des protéines et des éléments minéraux vers l'intérieur du grain, en réduisant la perte de ces constituants au cours de l'usinage (FAVIER ,1989 ; FAO ,1990. ALARY ET LAIGNELET, 1998).

III-5 Valeur nutritionnelle :

Le Riz est un aliment énergétique de bonne valeur nutritionnelle avec une prédominance glucidique. L'amidon de Riz constituant glucidique majeur, se caractérise par une digestibilité élevée, raison pour laquelle le Riz est utilisé, généralement sous forme de farine, dans les aliments infantile (LAUREYS et GEEROMS, 2002). Les protéines du Riz sont d'un point de vue nutritionnel parmi celles qui sont les moins mal équilibrées chez les céréales avec une teneur en lysine (facteur limitant pour les protéines céréalières). Plus élevée (JULIANO ,1994; LAIGNELET, 1998). En plus, le Riz se distingue des autre céréales par sa teneur élevée en glutélines (solubles dans les bases diluées) et faibles en prolamines (solubles dans les solutions alcoolique).

La composition protéique du Riz diffère cependant de celle de la plupart des céréales. Se rapproche plus des légumes. (OSZVALD et aL., 2008). En effet, elle ne présente pas l'épitope toxique responsable de la maladie cœliaque (KAMATSU ET HIRANO ,1992).

Les lipides du Riz sont constitués principalement d'acides gras insaturés. Ils sont concentrés surtout au niveau du germe et d'assise protéique. Le Riz est une

bonne source de vitamines du groupe B (thiamine, riboflavine et niacine) mais contient peu ou pas de vitamines A et C et D. La plus grande partie des vitamines se trouve dans la couche à aleurone et le germe d'où une perte vitaminique importante du fait de l'usinage. Outre le silicium, le Riz contient des quantités assez importantes de magnésium et potassium et il est particulièrement pauvre en sodium qui en fait un aliment conseillé pour des régimes désodés (**MOHTADJI-LAMBALLAIS, 1989; LAIGNELET, 1998**).

Tableau N°3 : Principaux des valeurs nutritionnelles du Riz cru (SOUCI et al, 1994)

Nutriments	Teneur pour 100 g de matière sèche
Protéines(g)	6.3 – 7.1
Lipides (g)	0.3 – 0.5
Glucides(g)	77 – 89
Fibres (g)	0.2 – 0.5
Minéraux (g)	0.3 – 0.8

III-6 La qualité culinaire du Riz :

La qualité culinaire d'un lot de Riz peut être définie comme un ensemble de caractéristiques séparées dont la combinaison détermine son acceptabilité par le consommateur (**BERNARD et RENE, 1983**).

Les propriétés physiques, telles que la longueur, la largeur, la translucidité, le degré d'usinage, la couleur et l'âge du Riz usiné sont des indicateurs de la qualité du grain. La teneur de l'amidon de Riz en amylose est le principal facteur de qualité à la consommation (**JULIANO, 1994**). Cette teneur varie entre 0 et 33%. En Europe, la majorité des Riz produits ont une teneur comprise entre 10 et 25 %. Au niveau des transitions internationales, on sépare des autres, les Riz 11 cireux « waxy » avec moins de 2 % d'amylose et donc avec un amidon composé presque exclusivement d'amylopectine (**LAIGNELET, 1997**).

Le contenu en amylose est directement en corrélation avec le gonflement du Riz et l'absorption d'eau au cours de la cuisson et aussi la dureté, la blancheur et la texture du Riz cuit. Ainsi les Riz cireux gonflent peu et ont une forte tendance à se désagréger. Un Riz riche en amylose est plus ferme et colle moins (**JULIANO, 1994; LAIGNELET, 1997**).

Le degré de cuisson du Riz est influencé par la température de gélatinisation des granules d'amidon. Cette température est définie comme étant celle à laquelle au moins 90 % des granules d'amidon sont gélatinisés où ont perdu leur biréfringence. Pour les granules d'amidon de Riz, cette température est classée comme suit: faible (55-69,5°C), intermédiaire (70-74°C) et élevée (74,5-80°C) (**JULIANO, 1994; LAIGNELET, 1997**).

III-7 Les facteurs antinutritionnels :

Les facteurs antinutritionnels dans le grain de Riz sont concentrés dans la fraction constituant le son. Ils comprennent la phytine (phytate), l'inhibiteur de la trypsine, l'oryzacystine et l'hémagglutinine (lectine) (**JULIANO, 1985**). Tous les facteurs antinutritionnels sont des protéines et tous, à l'exception de la phytine sont sujets à dénaturation par la chaleur

IV-1 Historique :

Le Maïs serait originaire d'Amérique centrale et du sud, et constitua l'aliment de base des peuples de ces régions, pendant de nombreux siècles avant l'arrivée des Européens selon des preuves. Archéologiques et paléobotaniques, le Maïs cultivé existe dans le sud-ouest des États-Unis depuis au moins 3000 ans. On pensait que le Maïs sauvage poussait dans la vallée de Tehuacan, dans le sud du Mexique, il y a 7000 ans, mais les plus récentes découvertes ont placé l'apparition du Maïs dans cette région à une date beaucoup plus récente, il y a environ 4600 ans. Le Maïs sauvage n'avait pas de caractéristique botaniques fondamentales très différentes de celles de la plante moderne.

Il a été introduit en Espagne par Cortes vers 1519 et sa culture, signalée au Béarn vers la fin de XVI^{ème} siècle, s'est développée au XVII^{ème} dans le Languedoc et la vallée du Rhône, la Bresse, l'Alsace, mais c'est après la seconde guerre mondiale que le Maïs a conquis la France entière. (Encyclopédie ®. Microsoft R. Encarta. 98 © -1993-1997)

IV-2 Description de la plante :

Le Maïs est une plante annuelle à tige érigée pleine à la différence, des tiges creuses de la plupart des autres graminées. Sa hauteur est très variable, certaines variétés naines ne faisant que 60 cm de haut à maturité tandis que les autres peuvent dépasser 6 m. la taille moyenne est de 2,5 m les feuilles alternes sont longues et étroites. Le Maïs est une plante monoïque (à inflorescence mâles et femelles réparées sur chaque individu).

La tige principale se termine en inflorescence est animée (mâle) ou aigrette. L'aigrette est constituée de nombreuses petites fleurs appelées épillet portant chacune trois petites antihères qui produisent les grains de pollen ou gamètes mâles. L'inflorescence pistillée (femelle) ou épi est une structure unique pouvant comporter jusqu'à 1000 grains portés par un axe résistant appelé rafle. L'épi est refermé dans des feuilles modifiées qui forment ce que l'on appelle l'enveloppe de l'épi de Maïs.

Les fibres soyeuses qui sortent de l'extrémité de l'épi sont styles allongés attachés aux différents ovaires.

Les pollens émis par les aigrettes, est porté par le vent jusqu'à styles soyeux des fleurs femelles, où il germe et descend, dans le style jusqu'à l'ovule. Chaque ovule fécondé se développe en grain de Maïs (Encyclopédie ®. Microsoft R. Encarta. 98 © -1993-1997).

IV-3 Variétés :

Les nombreuses variétés cultivées du Maïs présentent des caractéristiques très diverses. Certaines mûrissent en deux mois, d'autres demandent jusqu'à onze mois pour arriver à maturation. La couleur du feuillage varie du vert clair au vert foncé et elle peut être modifiée par les pigments bruns, rouges ou pourpres les épis mûrs ont une longueur variant de moins de 7,5 cm à plus de 50 cm. Le nombre de rangée de grains varie de 8 à 36.

Six grands groupes de variétés, sont différenciés par les caractéristiques du grain. Le Maïs denté (*indentata*) est le principal type de Maïs cultivé aux Etats-Unis. Les côtés du grain consistent en amidon dur, dit corné et la couronne en amidon farineux. Lorsque le grain mûrit, cet amidon farineux se rétracte, formant une dépression caractéristique.

Chez le Maïs à grains corné (*indurata*). L'amidon corné continue jusqu'à l'extrémité du grain, ce qui fait qu'il ne se forme pas de dépression. Certaines variétés de Maïs corné sont préférées dans climats frais en raison de leur bonne capacité de germination aux températures basses et dans les climats tropicaux en raison de leur résistance aux attaques des charançons la majorité des variétés cultivées en France provient de populations européennes à grains cornés et de lignées Nord- américaines à grains dentés.

Le Maïs à éclater (Pop-corn) est une variante du Maïs corné ayant des grains de petite taille très dure, l'humidité des grains les gonfler lorsqu'on les fait chauffer, ce qui provoque leur éclatement.

Le Maïs farineux contient surtout de l'amidon peu dense et il est facilement moulu en farine. Il est très cultivé, dans les régions andines d'Amérique du sud qui faisaient partie de l'empire inca. Le Maïs doux ou Maïs sucré (*saccharate*) est le type de Maïs couramment cultivé aux Etats- Unis pour la consommation humaine, le sucre produit par le Maïs sucré n'est pas converti en amidon au cours de la croissance, comme c'est le cas pour les autres variétés. Les grains ont un aspect ride caractéristique.

Ce Maïs doux est encore très peu cultivé en France. Le Pop-corn est rarement consommé mais il est souvent cultivé comme plante décorative.

« un autre Maïs décoratif est appelé Maïs indien et ses grains de toutes les couleurs peuvent être de type farineux ou corné (Encyclopédie ®. Microsoft R. Encarta. 98 © -1993-1997).

IV-4 Structure du grain de Maïs et distribution en poids des principales parties du grain :

Le grain de Maïs pour les botaniques est un caryopse ; un grain unique contient à la fois le tégument séminal et la semence.

Le péricarpe; le germe (embryon) ; l'albumen et la coiffe (tissu mort à l'endroit où le grain est attaché à la rafle).

Tableau N°4 : La distribution en poids des ces principales parties au grain est reproduite.

Structure	Distribution du poids (%)
Péricarpe	05-06
Aleurone	02-03
Albumen	80-85
Germe	10-12

Source : Landry et Mourreaux 1980.site : compose de Maïs

IV-5-Composition chimique des diverses parties du grain de Maïs :

Il existe de nombreuses données sur la composition chimique du Maïs. Bon nombre d'études ont été entreprises pour comprendre et évaluer les effets que peut avoir sur la composition chimique la structure génétique des variétés relativement nombreuses de Maïs dont on dispose, ainsi que les effets des facteurs environnementaux et des pratiques culturales sur les constituants chimique et la valeur nutritionnelle du grain de Maïs et de ses parties anatomiques.

La composition chimique des principales parties du grain de Maïs présente des différences importantes. Comme l'indique le tableau (Jacque SCHMITZ/ 1996 particularité de la maladie cœliaque chez l'enfant gastroenterol clin Biot. Masson paris).

Le tégument séminal ou péricarpe se caractérise par une forte teneur en fibre brute environ 87%, constituées principalement d'hémicellulose (67%) cellulose (23%) et de lignine (0,1%) [Burge et Duensing 1989]

D'autre part, l'albumen présente une haute amidon (87,6%) de protéines d'environ (8%). La teneur en graisse de l'albumine est relativement faible.

Enfin le germe se caractérise par une forte teneur en grasses brutes de (33%) en moyenne ; il a également une teneur relativement élevée en protéine (18,4%) et en réels minéraux.

On dispose d'un certain nombre d'informations sur la composition chimique de la couche à aleurone, qui une partie relativement riche en protéines (19%) environ et en fibres brutes.

La teneur en glucides et en protéines des grains de Maïs dépend dans une très grande mesure de l'albumen, tandis que les grasses brutes, dans une très grande mesure de l'albumen, tandis que les grasses brutes, dans une moindre mesure, les protéines et les sels minéraux dépendent du germe. (P. Rampal, C.CADOT 1990 la maladie cœliaque et le régime sangluten Gastro- enterol. Clin biol. Masson paris.).

Tableau N°5: Composition chimique approchée des principales parties des grains de Maïs (%).

Composants chimiques	Péricarpe	Albumen	Germe
Protéines	3,7	8,0	18,4
Extrait à l'éther	1,0	0,8	33,2
Fibres brutes	86,7	2,7	8,8
Cendres	0,8	0,3	10,5
Amidon	7,3	87,6	8,3
Sucre	0,34	0,62	10,8

IV-6 Composition chimique approchée :

Les principaux éléments nutritifs qui entrent dans la composition du Maïs présentent une grande variabilité. Le tableau N° :7 résume les principales données dont on dispose sur les différents types de Maïs empruntés à plusieurs publications.

La variabilité constatée est la fois d'ordre génétique et environnemental.

Tableau N°6: Composition chimique approchée des différents types de Maïs (%).

Type de Maïs	Humidité	Cendres	Protéines	Fibres brutes	Extrait à l'éther	Glucides
Salpor	12,2	1,2	5,8	0,8	4,1	75,9
Cristallin	10,5	1,7	10,3	2,2	5,0	70,3
Farineux	9,6	1,7	10,7	2,2	5,4	70,4
Amylacé	11,2	2,9	9,1	1,8	2,2	72,8
Doux	9,5	1,5	12,9	2,9	3,9	69,3
Eclaté	10,4	1,7	13,7	2,5	5,7	66,0
Noir	12,3	1,2	5,2	1,0	4,4	75,0

a- Amidon :

Le principal composant chimique du grain de Maïs est l'amidon constitué de 72 à 73 de son poids.

Les autres glucides sont des sucres simples présents sous forme de glucose, de saccharose et fructose dans des proportions variant de 1% à 3% du grain. L'amidon du Maïs est constitué de polymères du glucose, l'amylose, polymère linéaire et l'amylopectines composés également d'unité de glucose sans forme ramifiée.

b- Protéines :

Après l'amidon le comportement chimique le plus important du grain est constitué par les protéines. Dans variétés courantes, la teneur en protéine varie d'environ 8 à 10% du poids du grain.

La plus grande partie des protéines se trouve dans l'albumen. Les protéines des grains de Maïs en fait l'objet d'études très nombreuses. Selon Landry et Moureaux (1971-1982) elles sont composées d'au moins cinq fractions différentes. Selon eux, les albumens, les globulines et l'azote non protéique représentent environ 18% de l'azote total, selon une distribution de 7%, 5% et 6% respectivement. Les quantités de protéines solubles dans l'alcool sont faibles dans le Maïs immature. Elles augmentent à mesure que le grain approche de la maturité.

Etant donné que les fractions Zéine constituent plus de 50% des protéines du

grain de Maïs, et des recherches ont montré ces fractions sont carencées lysine et en tryptophane, alors il s'ensuit que les protéines contiennent également une faible quantité de ces deux acides aminés. Ces derniers sont présents en plus grande quantité dans le germe du grain du Maïs que dans son l'albumen. Comme le montre le tableau N°8

Tableau n°7: Teneur en acides aminés indispensables des protéines du germe et des protéines de l'albumen

Acide aminé	Albumen (a)		Albumen (a)		Combinaison Type FAO/OMS
	Mg %	Mg/g.N	Mg %	Mg/g.N	
Tryptophane	48	38	144	62	60
Thréonine	315	249	622	268	250
Isoleucine	365	289	578	249	250
Leucine	1024	810	1030	444	440
Total des acides aminés Soufrés	249	197	362	156	220
Phénylanine	359	284	483		380
Tyrosine	483	382	343		380
Valine	403	319	789		310
Lysine	228	180	791	341	340

1,16 pour cent d'azote.

2,32 pour cent d'azote.

c -Huile et acides gras :

La teneur huile du grain de Maïs provient essentiellement du germe. La teneur en huile est déterminée génétiquement avec des étagées entre 3 et 18 %. Le tableau N° 9 fait apparaître la composition moyenne en acide gras de l'huile des différentes variétés cultivées la Guatemala. Ces valeurs sont quelque peu différentes ; il est normal que les huiles obtenues à partir de variétés différentes. Présentent des compositions également différentes. L'huile de Maïs à un faible teneur en acides gras saturés, à savoir 11% d'acide palmitique et 2% d'acide stéarique. En revanche, elle contient des niveaux relativement élevés d'acide gras polyinsaturés essentiellement d'acide linoléique, avec une valeur moyenne d'environ 42 %.

On n'a décelé que les quantités extrêmement faibles d'acide linoléique et d'acide arachidonique.

En outre, l'huile de Maïs est relativement stable dans la mesure où elle ne contient que des quantités faibles d'acide linoléique (0,42%) et des niveaux élevés

d'antioxydants naturels. L'huile de Maïs est très prisée du fait de sa composition en acide gras, acide oléique linoléique pour l'essentiel.

De ce point de vue, les populations qui consomment du Maïs dégermé en tirent moins de profit en ce qui concerne l'huile et les acides gras que les populations qui consomment des produits à base de grains entiers.

Tableau N°8: Teneur en acides gras des variétés de Maïs guatémaltèque :

Variété de Maïs	C18 : 0 Palmitique	C18 : 0 Stéarique	C18 : 1 Oléique	C18 : 2 Linoléique	C18 : 3 Linoléique
QPM	15,71	3,12	36,45	43,83	0,42
Nutricia Azotea	12,89	2,62	35,63	48,85
X et zoc	11,75	3,54	40,07	44,65
Blanc tropical	15,49	2,40	34,64	47,47
Santa Apolonia	11,45	3,12	38,02	47,44

Source : Bressani et al 1990.

d- Fibres alimentaires :

Après glucides, les protéines et les graisses, les fibres alimentaires sont le composant chimique que l'on trouve en plus grandes quantités. Les fibres du grain de Maïs proviennent du péricarpe et de coiffe, mais ils sont également fournis par les parois des cellules de l'albumen et, dans une moindre mesure, les parois des cellules du germe. Le tableau N° :10 fait apparaître la teneur totale en fibres alimentaires solubles et insolubles des grains de Maïs. Les écarts entre les échantillons sont faibles en ce qui concerne les fibres alimentaires solubles insolubles.

Tableau N°9 : Fibres alimentaires solubles et insolubles du Maïs :

Type de Maïs	Fibres alimentaires		
	Insolubles	Solubles	Total
Highland	10,94 ± 1,26	1,25 ± 0,41	12,19 ± 1,30
Lowland QPM	11,15 ± 1,08	1,4 ± 0,73	12,80 ± 1,47
Nutricia	13,77	1,44	14,91

Source: Bressani, Breuner et Ortiz 1989.

Lorsqu'il est mûr, le grain de Maïs contient de petites quantités de glucides autres que l'amidon. Les sucres totaux sont compris entre 1 et 3% le saccharose, principal composant, se trouvant essentiellement dans le germe.

Des teneurs plus élevées en monosaccharides, disaccharides et tri saccharides sont relevés dans les grains mûrissants.

Douze jours après la pollinisation, la teneur en sucres est relativement élevée, alors que la teneur en amidon est faible. A mesure que le grain mûrit, les sucres diminuent et l'amidon augmente. On a constaté par exemple, que les sucres avaient atteint un niveau de 9,4% du grain (extrait sec) dans des grains de 16 jours, mais que ce niveau diminuait sensiblement avec l'âge.

La concentration en saccharose, de 15 à 18 jours après la pollinisation était comprise 4 et 8% du poids su du grain. Ces concentrations relativement élevées en sucres réducteurs et en saccharose pourraient expliquer la popularité du Maïs commun immature et plus encore du Maïs doux.

e- Sels minéraux :

La concentration des cendres dans le grain de Maïs est d'environ 1,3% soit un peu moins seulement que la teneur en fibres brutes. Le tableau N° : 11 fait apparaître la teneur en sels minéraux de certains échantillons du Guatemala. Il est vraisemblablement que se sont des facteurs environnementaux qui influent sur la teneur en sels minéraux. Le germe est relativement riche en sels minéraux, avec une valeur moyenne de 11% contre moins entier.

C'est le phosphore qui vient en tête, sous forme de phytate de potassium suivi de magnésium. Le phosphore est entièrement contenu dans l'embryon, avec des valeurs d'environ 0,90% dans le Maïs commun. Comme dans la plupart des céréales, le Maïs a une faible teneur en calcium et en oligo-éléments.

Tableau N°10 : Teneur du Maïs en matière minérales (moyenne de 0 échantillons) :

Sel minéral	Concentration (mg/100g)
P	299,6 ± 57,8
K	324,8 ± 33,9
Ca	48,3 ± 12,3
Mg	107,9 ± 9,4
Na	59,2 ± 4,1
Fe	4,8 ± 1,9
Cu	1,3 ± 0,2
Mn	1,0 ± 0,2
Zn	4,6 ± 1,2

Source: Bressain et Ortiz 1989

f-Vitamines :

f-1 Vitamines liposolubles :

Le grain du Maïs contient deux vitamines liposolubles :

La provitamine A, ou caroténoïdes, et la vitamine E. les teneurs caroténoïdes se trouvent principalement dans le Maïs jaune, à des teneurs pouvant être génétiquement contrôlées, tandis que le Maïs blanc ne contient que eu ou pas de caroténoïdes. La plupart des caroténoïdes sont présentés dans l'albumen corné du grain, le germe n'en contenant que faible quantités. Le béta-carotène est une source importante de vitamine A, mais malheureusement le Maïs jaune et beaucoup moins consommé par les humains que le Maïs blanc.

Squibb Bressani et Scrimshaw (1957) ont constaté que le béta- carotène représentait environ 22% du total des caroténoïdes (de 6,4 à 11,3 mg par gramme) dans trois échantillons de Maïs jaune. La teneur en crytoxanthine représentait 51% du total des caroténoïdes. L'activité de la vitamine A variait entre 1,5 et 2,6 µg par gramme.

Des études récentes ont montré que l'on accroît la transformation du béta-carotène en vitamine A en améliorant la qualité protéique du Maïs.

L'autre vitamine liposoluble. La vitamine E, sujette a un certain contrôle génétique se trouve dans le germe. La source de vitamine E est constituée par quatre tocophérols est vraisemblablement plus actif comme anti-oxygène que l'alpha-tocophérol.

f-2 Vitamines hydrosolubles :

Les vitamines hydrosolubles se trouvent principalement dans couche à aleurone du grain de Maïs. Suivie du germe et de l'albumen.

Cette distribution a son importance pour transformation, qui comme on le verra plus loin, entraîne des pertes des vitamines non négligeables. Des quantités variables de thiamine et de riboflavine ont été observées. La teneur est sensible davantage à l'environnement et aux pratiques culturales qu'à la structure génétique toutefois. On a noté des écarts entre les variétés dans le cas des deux vitamines hydrosoluble qui a fait l'objet des recherches les plus poussées est l'acide nicotinique, du fait de son association avec la carence en niacine ou pellagre maladie fréquente chez population consommant de grandes quantités de Maïs (**christianson et al, 1968**). Comme pour les autres vitamines la teneur en niacine varie selon les variétés, les valeurs moyennes s'établissant autour de 20 mg par gramme. Une caractéristique propre à la niacine du Maïs est faite qu'elle se trouve à l'état combiné, sous une forme non accessible aux enzymes digestives.

L'association de l'apport en Maïs et de la pellagre s'explique par la faible teneur du grain en niacine, encore que les travaux expérimentaux aient montré que des déséquilibres des acides aminés, tes que le rapport leucine/ isoleucine, et la disponibilité du tryptophane jouent également un rôle important (**Gopolan et Rao, 1975 ; Patterson et al, 1980**).

Le Maïs ne contient pas de vitamine B12, et le grain mûr ne contient au mieux que de faible quantités d'acide Ascorbique Yen, Jensen et Baker (1976) ont observé une teneur d'environ 2,69 mg par Kg de pyridoxine disponible. Les autres vitamines, qu'ils agissent de la choline de l'acide folique ou de l'acide pantothénique, ne se trouvant qu'à de très faibles concentrations.

VI-7 Valeurs nutritionnelle :

L'importance que revêtent les céréales pour la nutrition de millions d'habitants de la planète n'a pas à être démontrée. Etant donné la consommation relativement importante dont elles font 'objet dans les pays en développement, les céréales ne peuvent pas être considérées uniquement comme une source d'énergie puisqu'elles

fournissent également des apports importants. En protéines et que la qualité de ces protéines est limitée par des carences en certains acides aminés essentiels, la lysine principalement, ce que l'on sait beaucoup moins, c'est que quelques céréales contiennent un excès de certains acides aminés indispensables, ce qui a une influence sur le rendement de l'utilisation des protéines. Le Maïs en est l'exemple classique. D'autres céréales présentent ce même inconvénient, mais à un moindre degré.

Le tableau N°11 : Compare la valeur nutritionnelle des protéines du Maïs avec la qualité protéique de huit autres céréales.

Céréales	Qualité protéique (pourcentage de caséine)
Maïs commun	32,1
Maïs opaque-2 QPM	96,1
Riz	82,1
Froment	79,3
Avoine	38,7
Sorgho	59,0
Orge	32,0
Mil	58,0
Chandelle	46,4
Eleusine cultivée	35,7
Teff	56,2
Seigle	64,8

IV-8 Formes de consommation du Maïs :

a-Dans le domaine alimentaire :

Le Maïs est consommé sous diverse formes dans les différentes parties du monde, depuis le grain de Maïs servant à préparer la polenta et pain de Maïs, jusqu'au Maïs éclate pop-corn et aux produits tels que les flacons de Maïs (**Rooney et Serna-Saldivar 1987**).

Les grains sont fermentés pour fournir l'ogi au Nigeria (**Oke 1967**) et dans d'autre pays d'Afrique (**Hesseltine, 1979**), tandis qu'ils sont décortiqués, dégermés et précuit en Colombie et au Venezuela pour confectionner des a repas (**Instituts de Investigations Technologie 1972**).

En Egypte l'aishmerachra, pain de Maïs plat, est extrêmement répandu un produit analogue appelé markouk, est consommé au Liban.

Maïs est aussi largement utilisé pour fabrication de la bière [Schmitz, Navarro. J. 1986-1 a maladie colique. Gastro-entérologie pédiatrique. Médecine. Science.], C'est-à-dire en brasserie sous forme de Gritz, flacons, d'amidon, etc., à raison de 10 à 30% en moyenne.

La fabrication des Gritz comprend les opérations suivantes : Nettoyage, hydratation, injection de vapeur, dégermage, tamisage, aspiration, blutage, aspiration, triage densimétrique, broyage fin, blutage, sassage, séchage.

Le produit final sont les Gritz de Maïs avec une teneur en matières grasses < 1% s.m.s et une granulométrie bien définie (0,152 ÷ 1,27mm).

A partir de 10Kg de Maïs, on obtient 55 Kg de gritz à 13 % d'humidité.

La température de stockage des gritz de Maïs est importants <20°C sinon il y a oxydation des matières grasses influençant négativement la qualité de la bière.

Les gritz de Maïs sont brassés en chaudière à trempe avec infusion de malt et ou d' α -amylases fongiques ou bactériennes utilisant une méthode par décoction. Les complexes azotés des gritz de Maïs ne sont pas ou très peu transférés jusqu'à la bière (Mou-et al, 1974 a) [**Pierres et coolers Méthode de fabrication, définition, composition collection sciences and techniques**].

Le tableau N°12 : La composition physico-chimique de gritz du Maïs.

Les compositions physico-chimique de Gritz	Les compositions %
H2O	11-13
Extrait (% S.M.S)	88-0,3
T de gélatinisation (C°)	62-75
Matière grasse (%S.M.S)	0,8-1,3
Protéines (%S.M.S)	9-11
Amidon (%S.M.S)	71-74
Amylase (%)	24-28

Teneur en amidon de Maïs non transformée.

Le procédé de cuisson du Maïs à la chaux est propre au Mexique et l'Amérique centrale (Bressani, 1990), encore que la technique ait été exportée dans d'autres pays, les Etats-Unis notamment. Une pâte préparée à partir du Maïs cuit à la chaux est principal ingrédient de nombreux plats-populaires tels que l'atole, boisson aux multiples arômes et les tamalitos, préparés en enveloppant la pâte dans des spaths de Maïs et en la cuisant à la vapeur pendant 20 à 30 minutes généralement accompagnées de jeunes feuilles de chip lin de fleurs de loroco ou haricots cuits mélangés à la pâte.

La pâte sert aussi à confectionner les tomates, elle sert également de base aux enchiladas, aux tacos. (tortillas pelées contenant de la viande, etc.) et aux pupusas, confectionnées avec le fromage frais placé entre deux couches de les chips et les chilaquiles. Si on veut laisser fermenter, enveloppé dans des feuilles de bananier ou de plantain elle donne un aliment appelé des partir duquel plusieurs boissons peuvent être obtenues. [Collection FAO, Alimentation et nutrition organisation des nation unies pour l'alimentation agriculture Rome 1993 le mais de la nutrition humaine

L'huile extrait des germes de Maïs constitue dans certains pays une huile de table de qualité, largement utilisée sous forme solidifiée comme margarine. Guy Rouant. 1984 le mais Edition G.P Maisonneuve Larose et A.cc.T]

b-Dans le domaine de l'alimentation du bétail :

L'industrie du Maïs joue un rôle considérable par transformation directe de grains entiers, soit par l'utilisation de nombreux sous produit (sous-tourteaux, etc.).

b-1-Pour les tiges et rafles :

Les rafles sont une source importante de furfural, un liquide utilise pour la production de fibres de Nylon, le raffinage de la résine de bois, la fabrication d'huiles lubrifiantes à partir de pétrole et la purification du butadiène dans la production de caoutchouc synthétique.

Les rafles moulues sont utilisées comme abrasif doux les grandes rafles entières du Maïs servent de pipes pour fumer le tabac, les rafles sèches constituent une biomasse potentiellement utilisable pour la production de carburant. [Encyclopédie ®. Microsoft R. Encarta. 98 © -1993-1997 Microsoft corporation. Le maïs ; le Riz œuf.]

b-2 Pour le grain

A partir de l'amidon :

Colles, textiles, produits pharmaceutique et chimique.

A partir des protéines :

Vernis disques, produits pharmaceutique et textiles.

A partir des germes :

Produits de fonderie et de savonnerie [Guy Rouanet. 1984 le maïs Edition G.P Maisonneuve Larose et A.cc.T]

Des records de production de Maïs :

Pour la récolte 1996/97, la production mondiale de Maïs atteindrait

576 millions de tonnes, un score équivalent au record historique de 1994/95 ce qui à l'époque plaçait le Maïs devant le blé en terme de volume produit. Ce record est principalement dû à la part des États-Unis environ 40% de la production et 80% des exportations mondiales qui ont connu de forts rendements de 7,9 tonnes à l'hectare, production essentiellement écoulee sur le continent asiatique.

Autre opérateur prédominant, l'Asie connaît aussi des croissances substantielles. Ainsi en est-il de la Chine, l'Indonésie et du Viêt-Nam, les Chinois étant désormais excédentaires (4,3% annuellement de 1980- 1995). Cette forte production explique un retour des prix à un niveau plus raisonnable au milieu de la campagne 1996/97, de l'ordre de \$ 120 la tonne en janvier 1997 alors que 1995/96 et surtout le début de la campagne 1996/97 avaient connu des scores historiques, respectivement de l'ordre de \$ 159 et \$ 176.

Ce phénomène de yo-yo est d'ailleurs attesté par une étude tarifaire de la FAO portant sur spectaculaire évolution tarifaire entre deux campagnes 1994/95 et 1996/97 réalisé sur un échantillon de 47 pays, dont 32 ont accepté de jouer la transparence et de répondre, il y apparaît que les prix ont augmenté sensiblement et le tant en dollar qu'en monnaie nationale. Afrique agriculture 1997 produits de base, revue N0 25, septembre 1997. (Maghreb, Algérie, Maroc, Tunisie, Actualité et analyses).

Tableau N°13 : principaux producteurs :

Producteurs	Production en 1995 millions de Tonnes
Etats-Unis	191
Chine	107
Brésil	36
Mexique	16
France	13
Argentine	11
Inde	10
Italie	08
Production mondiale	506

V-1 Généralités sur la culture du blé dur

V-1-1 Classification botanique :

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscence, appelé caryopse constitué d'une graine et de téguments. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticumaestivum*) et le blé dur (*Triticumdurum*) (Feillet, 2000).

Le blé dur est une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal, se compose de fleurs parfaites (Soltner, 1998)

Tableau N°14 : Classification botanique du blé dur ((Feillet, 2000)

Famille	<i>Gramineae</i>
Sous famille	<i>Festucoideae</i>
Tribu	<i>Triticae-Aveneae</i>
Sous tribu	<i>Triticieneae</i>
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticumdurum</i>

V-1-2 Morphologie du grain de blé dur :

Morphologiquement, le blé dur se distingue par plusieurs caractéristiques physiques telles qu'une forme de grain allongée (6 à 9 mm de longueur et 2,2 à 3,2 mm d'épaisseur), un sillon ouvert, des enveloppes blanches ambrées et surtout par une amande très vitreuse et résistante à l'écrasement (Jeantet *et al*, 2007 ; Franconie, 2010).

V-1-3 Structure du grain de blé :

- Le grain de blé est constitué principalement de trois parties : l'albumen, les enveloppes et le germe (Fig.1).

a- L'albumen: C'est la partie centrale de la graine représentant 80 à 85% du grain. Elle est constituée par une succession de couches :

- L'assise protéique (couche à aleurone) : Elle est très riche en protéines.

- Les cellules de l'albumen : l'albumen peut être vitreux et dur (cas des blés durs) ce qui nous donne la semoule comme il peut être farineux, cas des blés tendre et de blés dur autre mitadiné favorables à l'obtention de farines.

b- Les enveloppes :

Les enveloppes, représentant 13 à 17% du grain, sont formées de différents tissus :

- Le péricarpe : Il provient des cellules de l'ovaire et il est constitué par 3 couches de cellules : l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe.
- Le Testa ou tégument de la graine constitué de deux couches de cellules.
- L'épiderme : il est appliqué sur l'albumen.

Après la mouture, les enveloppes seront éliminées sous forme de son qui est utilisé dans l'alimentation du bétail.

c- Le germe :

C'est l'embryon du grain; il représente moins de 3 % du poids du grain. Malgré sa très petite taille, le germe est la partie la plus riche en éléments nutritifs. Son contenu en lipides le rend difficilement conservable.

Comparativement à d'autres céréales, le grain de blé possède un sillon résultant d'une invagination des téguments vers l'intérieur du grain, sur toute sa longueur et du côté du germe, où se localisent les faisceaux nourriciers de la graine. Sa présence détermine la manière dont s'opère la séparation de l'albumen et des enveloppes pour extraire les farines ou semoules (feillet, 2000).

V-2 Composition chimique et biochimique du grain de blé :

Le grain de blé dur, de la famille des Poacées, est une céréale dont les fruits portent le nom botanique de caryopse.

Les grains de céréales sont particulièrement déshydratés (Godon, 2000), ce qui est un avantage pour leur conservation. Ils sont principalement constitués, d'amidon (70%), de protéines (10 à 15%) (selon les variétés et les conditions de la

culture) et de pentosane (8 à 10%) ; les autres constituants, pondéralement mineurs, sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Feillet, 2000).

Le tableau n°1 nous donne une idée générale sur la composition des grains de blés.

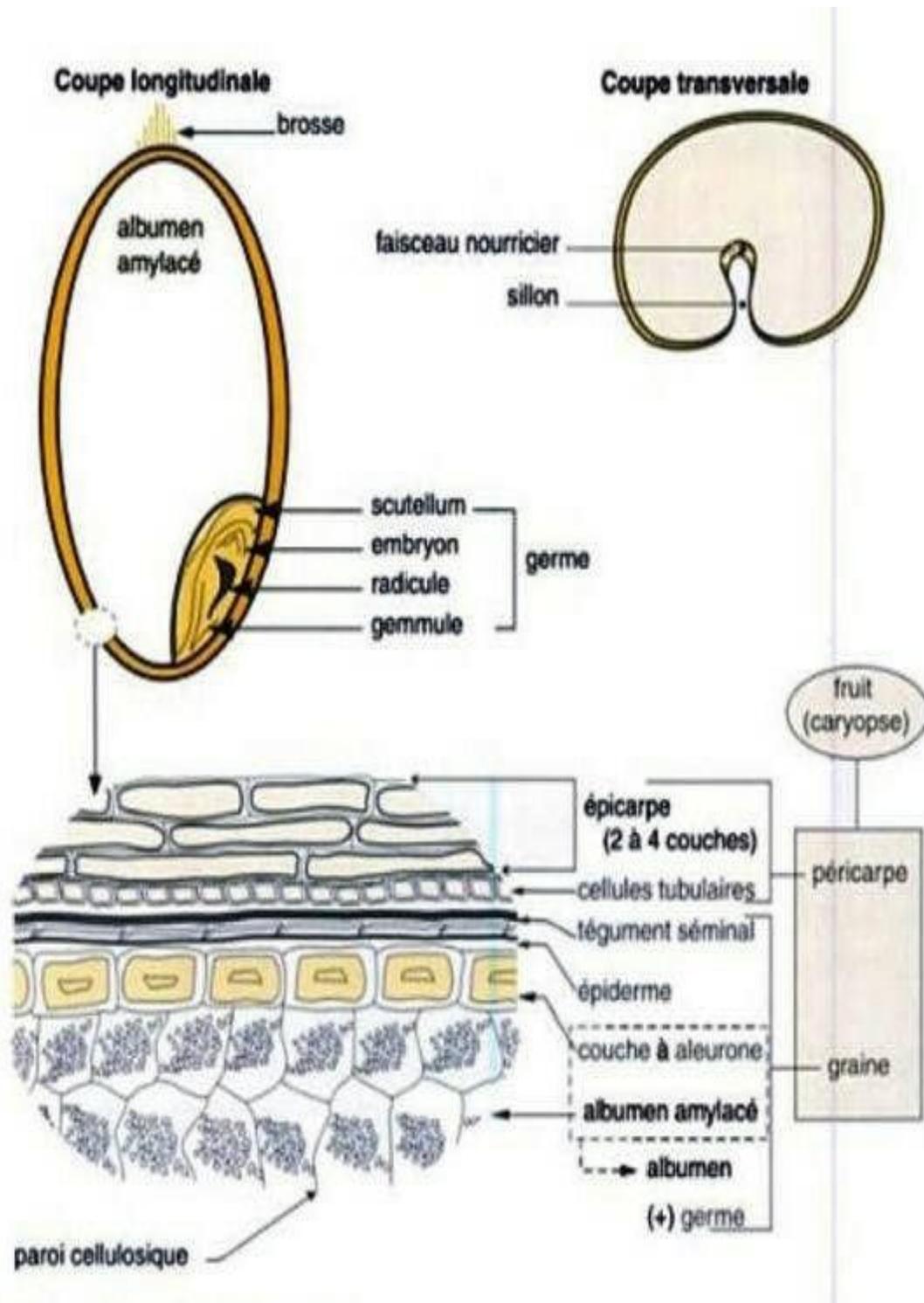


Figure N°5 : Coupe longitudinale et transversale d'un grain de blé dur (FEILLET, 2000).

Tableau N°15 : Composition chimique du grain de blé (%M.S) (Feillet, 2000).

Espèce	Protéines	Amidon	pentosane	Cellulose	Sucres Libres	Lipides	Matières Minérales
Blé	10-15	80	8-10	2-4	2-3	2-3	1,5-2,5

Le grain de blé entier, par comparaison a la semoule issue, va différer de celle-ci par la présence des enveloppes et du germe qui sont éliminés au cours de la mouture. La composition biochimique de la semoule sera donc moins riche en ce qui concerne les protéines, la cellulose, les matières minérales, les matières grasses et les vitamines.

Parmi les céréales, une particularité des blés et dérivés est à souligner :

Ils comprennent une protéine aux caractéristiques plastiques, le gluten qui permet la fabrication d'une gamme extrêmement variée de produits : pains, biscuits, biscottes, pâtisserie, viennoiserie, pâtes alimentaires, couscous..... (Fourar, 2011).

Du fait que nous nous intéressons plus particulièrement aux semoules, matière première des pates alimentaires, nous nous proposons de présenter la composition biochimique des semoules d'une façon plus détaillée (chap.3, paragraphe 3).

L'eau :

L'eau le un composant chimique le plus largement répandu à la surface de la terre et un des composants biochimiques les plus important des produits naturels et biologiques (Godon, 1998).

C'est une substance que l'on rencontre en abondance dans la plupart des tissus végétaux. Elle joue un rôle important dans le développement des microorganismes; cependant, dans le grain de blé bien mûr sa teneur est faible. D'après Legendre (1935), elle varie entre 5 et 21%.suivant les conditions de récolte et de stockage

VI -1 Définition :

Les pâtes alimentaires sont des produits à consommation courante dans nombreux pays (Wagner et al., 2015), et prennent la deuxième place après le pain dans la consommation mondiale (Torres et al., 2007).

Selon Alais et al., (2003), les pâtes alimentaires sont le résultat de la dessiccation d'un pâton non fermenté, moins hydraté que celui du pain et obtenu à partir de semoule de blé dur. La structure de la pâte alimentaire semble être un réseau de gluten, composé par des protéines de réserve, gliadines (protéines monomériques) et gluténines (protéines agrégées par des liaisons disulfures).

Elles jouent un rôle important dans la nutrition humaine, et peuvent être facilement préparées, manipulées, cuites et stockées (Agama et al., 2009).

VI-2 Classification des pâtes alimentaires :

Selon Tremoliere et al., (1984) et Boudreau et al.,(1992), les pâtes alimentaires sont classées en deux groupes selon les machines utilisées pour leur fabrication :

a- Pâtes pressées ou tréfilées :

C'est une pâte comprimée par une presse à travers une filière qui sert de moule dont on obtient les formes classiques telles que le spaghetti, macaroni, coquillettes ou coupées à volonté de manière à obtenir des pâtes longues ou courtes.

b-Pâtes laminées :

Ce type de produit est abaissé par laminage entre deux cylindres et est réduit en feuilles larges et minces. Celles-ci sont soit divisées en rubans, soit amenées sur des machines munies d'emporte-pièces ce qui donne la forme désirée.

c-Pâtes alimentaires sèches :

Les abaisses de pâtes ainsi formées peuvent tout d'abord être précuites pour être ensuite séchées ou être tout de suite séchées sans cuisson préalable. La perte au séchage s'élève à 13g/100g ($a_w < 0,65$). Les pâtes alimentaires sèches peuvent être stockées sans problème à température ambiante (Ugrinovitset *al.*, 2004).

d-Pâtes alimentaires fraîches :

La perte au séchage des pâtes alimentaires fraîches se monte à >13 g/100 g (valeur $a_w > 0,65$). Leur durée de conservation dépend de la méthode de conservation employée. Il existe différents procédés pour prolonger la conservation des aliments : acidification, séchage partiel, stockage sous atmosphère inerte, emballage sous-vide, pasteurisation, stérilisation, réfrigération, congélation, etc (Brennan et Tudorica, 2007).

VI-3 Constituants de la pâte Semoule :

La semoule de blé dur est considérée comme le témoin auxquels sont comparées les autres matières premières. Elle est reconnue comme substrat principal pour la fabrication des pâtes alimentaires en raison de sa teneur en gluten qui confère aux pâtes (couscous, pâtes alimentaires, ...) des propriétés technologiques et rhéologiques spécifiques, de sa dureté, sa couleur unique, sa flaveur et sa qualité de cuisson (Feillet *et al.*, 1996 ; Petitot, 2009).

Après conversion en pâte, elle donne des produits avec des bonnes qualités culinaires et une stabilité à la cuisson (Sissons, 2008). L'Amidon (74-76 %) et les protéines (12-15 %) sont des constituants majeurs de la semoule de blé dur (Turnbull, 2001 ; Duranti, 2006).

La qualité technologique d'une semoule pour la fabrication des pâtes alimentaires est définie par son aptitude à donner des produits finis dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs. Ces deux caractéristiques sont influencées par la composition biochimique et l'état physique (granulométrie) des semoules, eux même liés à l'origine histologique des produits (Abecassis, 1991).

- Eau :

Selon S.I.F.P.A.F (2012) l'eau utilisée pour permettre le malaxage de la semoule se trouve alors, complètement évaporée et qu'après dessiccation, le taux résiduel et réglementaire d'humidité des pâtes, soit 12,5% s'avère légèrement inférieur à celui de la semoule mise en œuvre (14 à 15%)

Elle gonfle le grain d'amidon et favorise l'assouplissement et l'allongement du gluten ce qui donne à la pâte ses propriétés de plasticité. Elle fournit aux molécules (protéines et enzymes) la mobilité nécessaire pour réagir et elle participe elle-même aux réactions (Guinet et Godon, 1994).

VI-4 Procédé de transformation des semoules en pâtes :

Aujourd'hui, le procédé de fabrication continu est réalisé à l'aide de l'automatisation. Il donne lieu à une productivité haute (2-5 tonnes/h). Il comporte trois étapes fondamentales (Feillet, 2000 ; Petitot *et al.*, 2010)

- ✓ L'hydratation/ malaxage de la semoule.
- ✓ Formage ou façonnage (extrusion/ laminage).
- ✓ Séchage.

a-Hydratation / malaxage :

La quantité d'eau ajoutée à la semoule varie généralement de 25 à 34 Kg pour 100 Kg de semoule. Elle dépend de la teneur initiale en humidité de la semoule et de la forme finale des pâtes. L'absorption d'eau a lieu en dessous de 50 C° (Petitot *et al.*, 2009).

Le mélange des constituants des pâtes s'effectue dans un malaxeur qui tourne à 120 tours/min pendant 20 minutes (Petitot *et al.*, 2010).

Le malaxage ne développe pas la pâte et ne modifie que très partiellement les propriétés physico-chimiques des protéines (Feillet, 1986).

b-Formage ou façonnage :

Selon Abecassis *et al.*, (1994) le façonnage des pâtes est assuré soit par laminage, soit par extrusion.

- Extrusion :

La pâte est forcée à travers une matrice sous vide à haute pression (80-120 Kg/cm) pour donner aux pâtes la forme désirée par développement de la pâte. Le sous vide aide à minimiser l'oxydation des pigments, réduit les réactions de décomposition enzymatiques et oxydatives, et diminue l'apparition de bulles dans la pâte (Belitz *et al.*, 2009).

Les forces mécaniques peuvent mener à un endommagement modéré des granules d'amidon. Une élévation locale de la température (>à 60°C), due aux forces mécaniques peut aussi provoquer la gélatinisation de l'amidon (Petitot *et al.*, 2009).

- Laminage :

Dans le processus de laminage, la pâte est pétrie et laminée en feuille entre deux cylindres rotatifs, trois à cinq paires de rouleaux sont utilisés jusqu'à ce que la feuille atteigne l'épaisseur désirée. La feuille est ensuite coupée en brins de largeur et de longueur souhaitée (Petitot *et al.*, 2009).

Les deux techniques utilisées sont différents au niveau de l'énergie mécanique dont elle employée pour le formage de la pâte (Abecassis *et al.*, 1994).

L'énergie transférée à la pâte est plus élevée avec le procédé d'extrusion qu'a celui de laminage et une partie de celle-ci est dissipée sous forme de chaleur.

En outre, lors de l'extrusion, la pâte est soumise à un stress de cisaillement alors pendant le laminage, un stress élongationnelle a été appliqué. Ces différences de ces paramètres (le stress, la chaleur et la pression) peuvent entraîner la formation des pâtes de structures différentes (Petitot *et al.*, 2010).

- Séchage :

Le séchage a un impact profond sur les caractéristiques finales du produit, surtout en termes d'aspect et de comportement à la cuisson. Pendant le séchage, le transfert de chaleur et de masse se produisent, ce qui mène à la déshydratation du produit. (Gallegosinfante *et al.*, 2010). Mercier *et al.*, (2011) rapportent que ces phénomènes de transport sont hautement liés aux propriétés des matériaux telles que la teneur en eau, la densité, le rétrécissement et la porosité des pâtes.

- Conditionnement :

Le produit fini est finalement conditionné dans des sacs en cellophane ou polyéthylène. Le conditionnement est désigné pour protéger le produit contre la contamination, l'endommagement pendant le chargement et le stockage et pour afficher favorablement le produit parmi d'autres produits (Sissons, 2004).

VI-5 Structuration des constituants des pâtes au cours de procédé de fabrication :

a-Phase d'hydratation et de malaxage :

Au cours du malaxage, certains grumeaux hydratés hétérogènes sont formés, les particules non hydratées restent présentes dans certaines régions de mélange (Aalamiet *al.*, 2007)

L'hydratation limitée de la semoule et une faible énergie apportée lors du malaxage (Icardvernieri, 1999) empêcherait le développement d'un réseau protéique (Mastuo *et al.*, 1978).

b- Phase de façonnage :

- Extrusion :

La pâte est soumise à des forces de pression et de cisaillement conduisant à la formation d'une structure compacte avec des granules d'amidon profondément concentrée dans une matrice protéique et alignée le long de la direction d'écoulement (Mastuo *et al.*, 1978).

Les granules d'amidon ont des formes et des tailles irrégulières et semblaient être légèrement enflés (Tudorica *et al.*, 2002).

Le réseau protéique commence à se développer entraînant l'agrégation des polymères de gluténines, probablement à travers la formation de ponts disulfures, et conduisant à une perte de solubilité des protéines dans le SDS. Cette insolubilisation des protéines a déjà été observée par Dexter *et al.*, (1977) et IcardVernieri en 1999.

Selon Dexter et Mastuo en 1977, l'extrusion a conduit à une perte de solubilité de la fraction globuline sans affecter l'albumine, fraction gliadine et gluténine. Cette perte de solubilité ne pouvait pas être expliquée par polymérisation, car aucun changement n'induit dans les ponts disulfures et aucun changement dans la distribution moléculaire des protéines ont été détectés.

- Laminage:

L'augmentation des niveaux de passage à travers les rouleaux de laminoir (de 3 à 45 passes) résulte une distribution uniforme et homogène des protéines et des granules d'amidon dans la pâte. A l'échelle moléculaire, il a induit une plus grande solubilité de gluténine dans le SDS qui due à la désagrégation et la dépolymérisation des protéines (Kim et al., 2008).

Ainsi un endommagement de l'amidon modéré a été observé (Zaradetto et al., 2005).

d- Phase de séchage :

Lamacchia et al., (2007) ont analysé les protéines des pâtes sèches par HPLC, ils ont observé une diminution progressive des petites et grandes protéines monomériques avec une augmentation de la taille moléculaire des protéines polymériques en parallèle avec l'augmentation de la température de séchage de 60 à 90 °C. Les ponts disulfures sont les principales liaisons formées au cours de séchage des pâtes.

Selon Favier et al.,(1996), les gluténines sont très sensibles à la chaleur, à 80°C, ils forment des ponts disulfures intermoléculaires et deviennent insolubles.

Egalement, les gliadines sont impliqués et forment des ponts disulfures avec le complexe gluténine (Singh et al., 2004)

Sous une vue par microscopie en lumière polarisée, les granules d'amidons sont représentées par des différents niveaux de croix de biréfringence : des pâtes séchées à des faibles températures, la plupart des granules d'amidons conservent leur biréfringence (Altan et al., 2005), alors environ 20% des granules d'amidon de pâtes séchées à des hautes températures et très hautes températures sont partiellement ou complètement perdu leur biréfringence (Güler et al., 2002)

VI-6 Rôle des constituants biochimiques dans la qualité culinaires des pâtes alimentaires :

a-Rôle des protéines :

Au cours de la cuisson, les protéines forment un réseau insoluble piégeant et retenant dans ses mailles les autres composants et spécialement les granules d'amidon gonflés et en cours de gélatinisation (Feillet, 1984) cité par Bahchachi(2002).

Les gliadines et les gluténines forment le réseau de gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques des pâtes (Bloksma, 1990).

Très extensibles quand elles sont hydratées, les gliadines (qui posséderaient des propriétés plastifiantes) confèrent à la pâte son extensibilité, sa viscosité et sa plasticité. La ténacité et l'élasticité de la pâte s'expliquent par les propriétés très particulières des gluténines pour maintenir les granules d'amidons gélatinisés au cours de la cuisson (Wrigley et al., 2006).

Le contenu en protéines et la force du gluten jouent un rôle prépondérant dans la détermination de la qualité des pâtes notamment la qualité culinaire. Les propriétés fonctionnelles du gluten lui permettent au cours de la fabrication des pâtes, de former un réseau tridimensionnel imperméable, la quantité de gluten et la qualité de ses protéines sont des facteurs prédéterminant de la valeur pastière de la semoule (Feillet, 2000).

b- Rôle des lipides :

Bien que leur teneur dans les semoules ne dépasse pas 2 à 3 %, les lipides jouent un rôle important en fabrication des pâtes, du moins ceux qui ne sont pas liés à l'amidon. Les lipides constituent un facteur déterminant de la couleur de la pâte. Elle est établie au cours de la période de fabrication des pâtes en raison de l'oxydation des pigments jaunes sous l'action des lipoxygénases principalement au cours de l'hydratation, malaxage, extrusion et pendant l'étape de séchage (Sissons, 2008).

Mastuo et al.,(1986) et Sisson en 2008 prouvent que ces lipides essentiellement non polaires ont des effets sur la qualité des pâtes en terme de viscosité et la délitescence. Elimination des lipides totaux et lipides non polaires augmentent le caractère collant des pâtes et les pertes à la cuisson (Sissons, 2008).

Au cours de l'étape de malaxage de la pâte, les lipides libres interagissent avec les composants de la semoule essentiellement les protéines ce qui conduit à l'amélioration de la force du gluten. Le processus de mélange accélère la formation des liaisons hydrophobes des lipides non polaire avec les composants solubles dans l'acide comme le gluténine, gliadine, albumines et les composants non azotés (Chung, 1986).

Tandis que les lipides polaires interagissent principalement avec les gluténines. Les lipides polaires libres peuvent également se lier à la gliadine par des liaisons hydrophiles. Ces liaisons améliorent les interactions de protéines ce qui

fournissent un meilleur support structural pour le réseau du gluten (Chung et al., 1978). Attribue leur mode d'action à un phénomène physico-chimique suivant : L'oxydation des acides gras polyinsaturés, catalysé par la lipoxygénase provoque un réarrangement des liaisons disulfures au sein du réseau protéique et par conséquence améliore la qualité du gluten (Feillet, 2000).

VI-7 Interaction des lipides avec les constituants du grain :

VI-7-1 Interaction lipide – fraction protéique :

Selon Wehrli et Pomeranz en 1970, les lipides se lient aux gluténines par l'intermédiaire des phospholipides et aux gliadines par le biais des glycolipides (les mono galactosyldi glycérides et les digalactosyldiglycérides).

Les lipides liés aux gliadines sont exclusivement des lipides polaires et le digalactosyldiglycérides est le glycolipide prédominant suivis par le monogalactosyldiglycéride (Chung, 1986).

VI-7-2 Interaction lipide – amidon :

Selon Morrison (1988), les lipides complexés à l'amidon sont si intimement liés au sein des granules d'amidon qu'ils ne semblent pas avoir de rôle actif dans la pâte, sauf au niveau de la gélatinisation de l'amidon lors de la cuisson. Par contre les lipides non complexés à l'amidon participent à des processus chimiques et physiques en panification. Au cours du pétrissage, les lipides joueraient le rôle d'agent de liaison entre l'amidon et les protéines par l'intermédiaire de phospholipides.

L'étude de l'interaction glycolipide-protéine par (Wehrli et Pomeranz, 1970) sur l'amidon natif et gélatinisé et sur l'interaction glycolipides-gliadines montre que les glycolipides se lient aux gliadines et à l'amidon gélatinisé par des liaisons hydrogènes (hydrophiles) et aux gluténines par des liaisons hydrophobes.

VI-8 Qualité des pâtes alimentaires :

Selon Renaudin (1951), la qualité des pâtes alimentaires dépend essentiellement de celle des matières premières employées, de l'eau ayant servi à la fabrication et des soins apportés dans la préparation, au séchage et à la conservation.

Les propriétés qui déterminent la qualité des pâtes alimentaires sont leur aspect à l'état cru et leur comportement durant et après la cuisson, leur valeur nutritionnelle et leur état hygiénique (Feillet, 2000).

a- Qualité organoleptique :

Les critères d'évaluation de la qualité organoleptique des pâtes alimentaires recherchés par le consommateur final sont l'aspect avant la cuisson et la tenue après la cuisson (Trentesaux, 1995).

❖ Aspect des pâtes alimentaires :

Feillet (2000) rapporte que les caractéristiques qui déterminent l'aspect des pâtes alimentaires sont :

- Gerçures : ce sont des fêlures de la pâte sèche dues à un mauvais réglage du séchoir.
- Piqûres : elles peuvent être blanches, brunes ou noires.
- Texture superficielle des pâtes: qui dépend de la nature des moules utilisés.
- Couleur des pâtes : elle doit être uniforme.

b- Qualité culinaire des pâtes alimentaires :

Feillet (1986) et Porcedu (1995) sont montrés que la qualité culinaire des pâtes est évaluée par :

- Les temps de cuisson qui varient avec le format de la pâte. Pour celles du même format, ils varient avec la qualité de la pâte. Ces temps de cuisson sont déterminés en fonction du gonflement, de la texture et de l'état de surface.
- Le gonflement de la pâte pendant la cuisson qui est calculé par différence entre le poids des pâtes avant et après cuisson.
- La texture du produit cuit est caractérisée par la fermeté et la masticabilité après cuisson.
- L'état de surface est caractérisé par le collant (prise en masse ou degré d'adhésion) et l'aspect plus ou moins lisse des produits cuits (délicatesse).

L'état de cuisson doit être « *al dente* », c'est-à-dire que les pâtes doivent résister légèrement sous la dent et garder un niveau de fermeté (Vierling, 1999).

c- Qualité hygiénique :

Elle est considérée comme excellente, ne pose pas de problème particulier, bien que les micro-organismes trouvent un milieu favorable à leur développement au cours du séchage (maintien de produits réhydratés à 40-50°C pendant plusieurs heures). Généralement, seules des bactéries saprophytes, dont la présence ne constitue aucun danger (Feillet, 2000).

d- Qualité nutritionnelle :

L'apport protéique est loin d'être négligeable, puisque 100 g de pâte contiennent de 10 à 12 g de protéines et que cette valeur passe de 12 à 14 g dans le cas des pâtes aux œufs. Ces protéines sont déficientes en acides aminés indispensables, en lysine notamment. Rappelons que le séchage à haute température diminue l'apport de lysine disponible et altère de ce fait légèrement la valeur nutritionnelle des produits obtenus (Feillet, 2000).

Partie Expérimentale

Historique

L'entreprise a été fondée en 1990 par monsieur TALEB EZZRAIMI Abdelkader en tant que petite société familiale dans le domaine de la minoterie – semoulerie ou elle a fait office de pionnière en sa qualité de première société privée dans cette filière d'activité en Algérie.

D'une dimension familiale Modest à sa création, la société SIM a connu dès ses premières années d'activité une croissance active et soutenue pour s'ériger actuellement en groupe industriel, commercial et financier d'une envergure nationale largement consacrée.

Outre l'extension et le développement de sa première filiale dans l'agro-alimentaire; le groupe SIM élargi ses activités vers d'autres créneaux par la création de plusieurs filiales,

Secteur industriel

- Une filiale meunerie.

Secteur de la santé

- Une clinique médico-chirurgicale.

Secteur de la construction

- Une filiale dédiée à la promotion immobilière et à la gestion d'infrastructures sportives et de détente

Secteur de l'enseignement de la formation:

- Un complexe scolaire de différents paliers
- Deux instituts de management.

Cette production est assurée par:

- 4 semouleries.
- 3 minoteries
- 5 lignes de production de pâte courte.
- 4 lignes de production de pâte longue.
- 8 lignes de production de couscous.

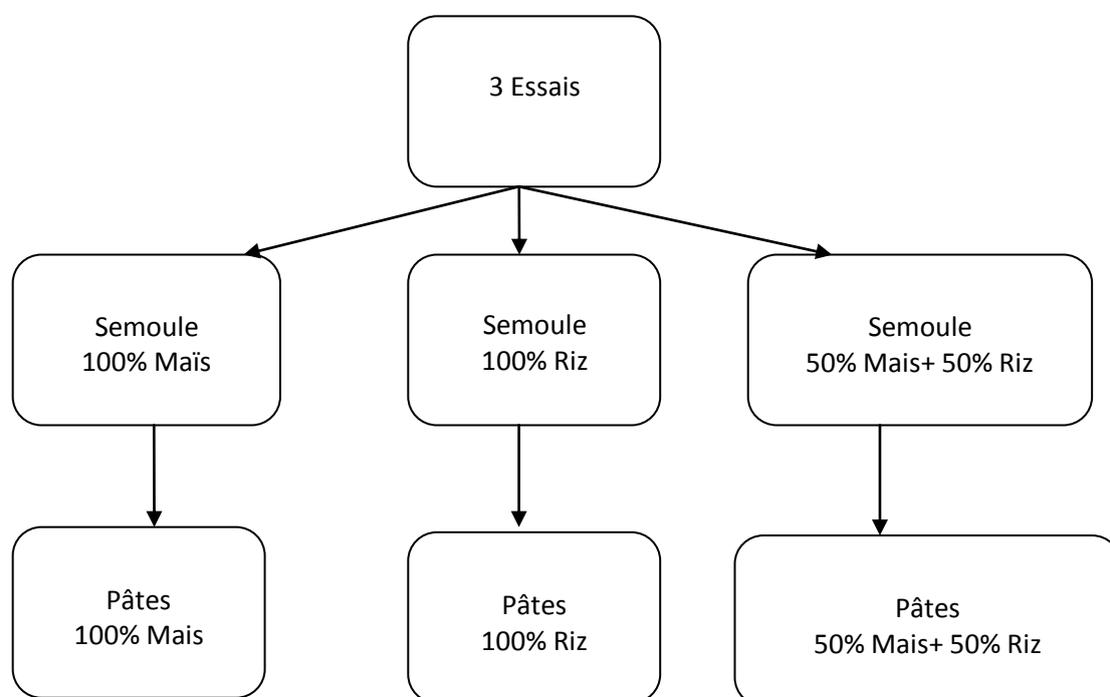
- Une unité d'aliment du bétail.
- 1 ensemble de silos de stockage .

Les production SIM conformes aux normes iso9001-2000 et à ceux de HACCP (semoule , pates alimentaires , couscous) sont aujourd'hui vendus en France , canada , soudan , Niger , mali , Tchad , Egypte , Sénégal, Libye.

II. Objectif de la pratique :

Le but recherché à travers la présente étude expérimentale est l'appréciation des pâtes alimentaires sans gluten fabriquées à partir des semoules de maïs et de Riz pour ce faire nous avons procédé aux essais préliminaires suivants:

- ❖ Essai de mouture « réduction et panification » de Riz et gritz de maïs.
- ❖ Les analyses qualitatives et quantitatives des semoules.
- ❖ Essai de fabrication des pâtes alimentaires.
- ❖ Essai de cuisson des pâtes alimentaires.



II- Matériels et méthodes :**II-1 Matériel végétale:**

Des produits utilisés lors de nos essais de panification sont les suivantes :

a) Les grains de maïs :

- 05 KG fourni par la société SINDERS «SIM » zone industrielle –Ain Defla.

b) Le Riz :

- 05 kg de Riz de type : long, blanc Commercial

c) La semoule de blé dur (3SE) : « le témoin »

La 3SE est obtenue de complexe agro-alimentaire « SIM »

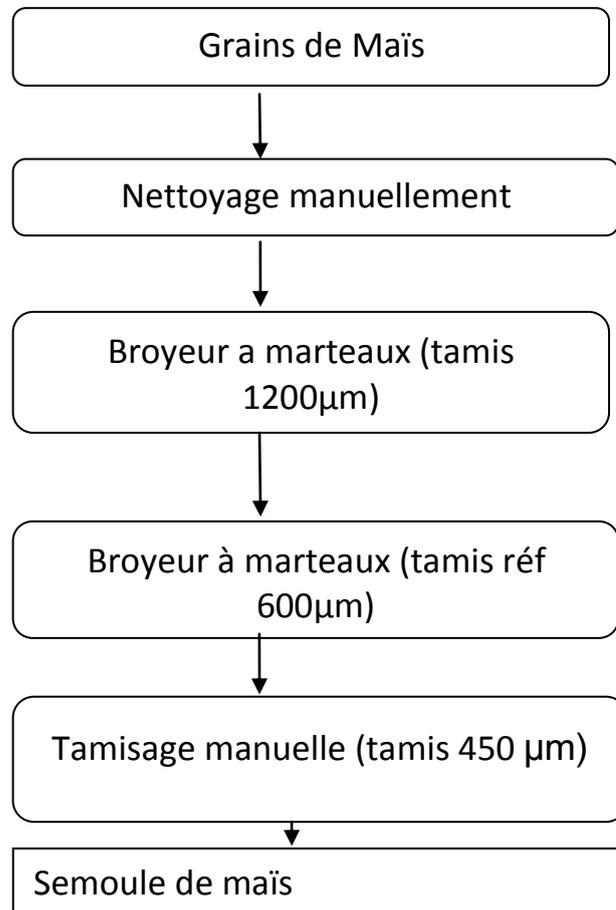
II-2 Préparation de semoule :**a) essai de broyage et purification des semoules :**

Pour réaliser les essais de broyage des grains de Maïs et de Riz on a utilisé un broyeur à marteau qui contient un tamis échangeable, premier passage à travers tamis 1200 μ m après on fait passer le même produit à traverser 2^{ème} Tamis de réf. 600 μ m pour obtenir un produit très fin.



Fig. N°6 : Broyeur à marteau.

Le tamisage a été réalisé manuellement dans un tamis 450 μm .
Pour bien schématiser le broyage et la purification des grains de Maïs et de Riz,
on a établi le diagramme suivant :



ORG 1 : Réduction et la purification de
grains de Maïs

Remarque : les mêmes étapes applicables pour le Riz

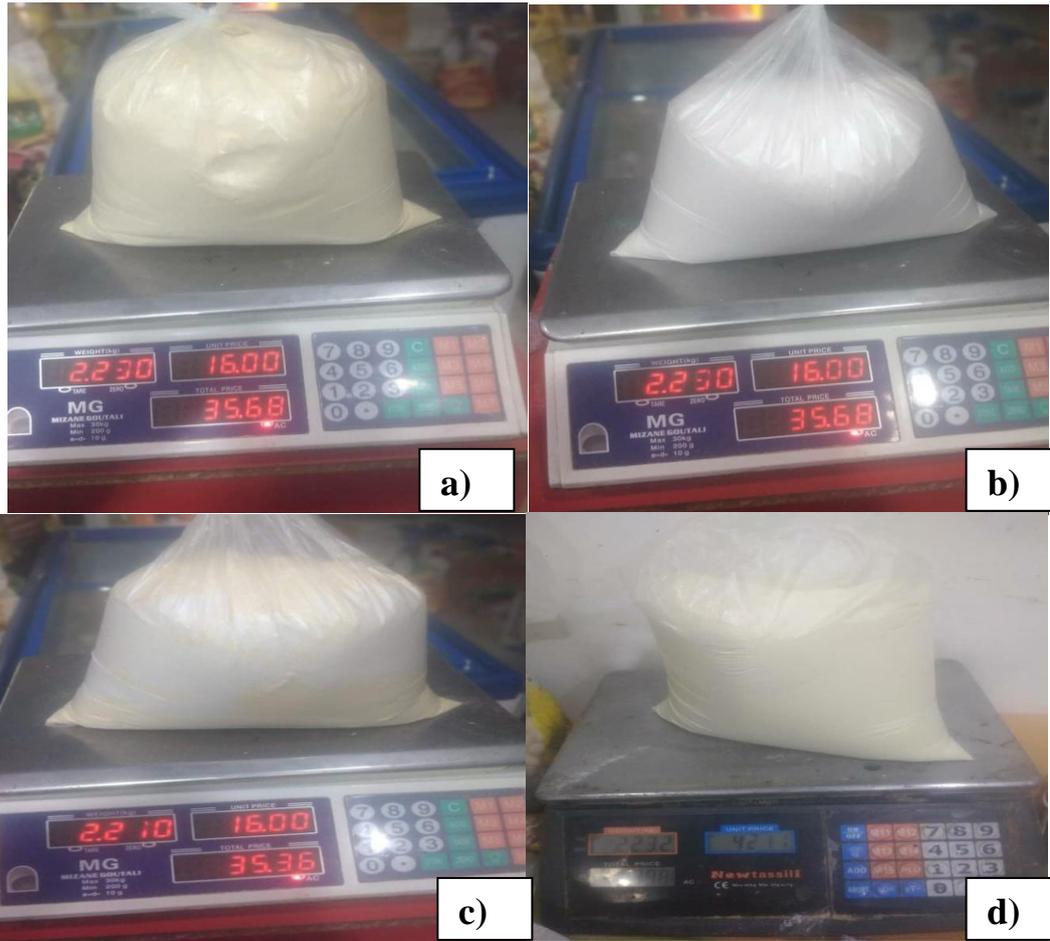


Figure N°07 : pesé les différents échantillons des semoules

a) Semoule 100% Maïs

b) semoule 100% riz

c) Mélange 50% maïs et 50%riz

d) Semoule 3SE

II-3 Les analyses effectuées sur la matière première :

a - Détermination de la teneur en eau :

❖ **Méthode utilisé :** la détermination de la teneur en eau est effectuée sur la base d'une méthode qui porte la référence N.A. 06.95.04.

• **Définition :**

Dans les produits ayant nécessité un broyage, verser la totalité de la mouture obtenue dans la capsule ayant subit le même traitement que celui cité dans le paragraphe ci-dessus.

• **Mode opératoire :**

Introduire la capsule ouverte, contenant la prise d'essai et le couvercle dans l'étuve pendant 90 minutes pour la semoule, en prenant en compte le temps à partir du moment où la température de l'étuve est à nouveau comprise entre **130° à 133°C**.

On opérant rapidement, retirer la capsule de l'étuve, la placer dans le dessiccateur dans le cas d'essai en série, ne jamais superposer les capsule dans ce dernier.

Des que, la capsule est refroidie à la température du laboratoire (30 à 45 °C) peser

1mg près **5g** de l'échantillon pour essai et verser dans la capsule.

Introduire la capsule ouverte, contenant la prise d'essai et le couvercle dans l'étuve pendant 90 minutes.

Expression des résultats :

La teneur en eau pourcentage en message du produit tel quel est égal à :

$$H\% = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100$$

M0 : Masse une capsule vide(g).

M1 : Masse une capsule et le produit(g).

M2 : Masse du produit après séchage(g).

b - Détermination de la teneur en cendres:

❖ **Méthode utilisé :** la détermination de la teneur en cendre est effectuée sur la base d'une méthode qui porte la référence N.A. 06.95.05.

❖ **Objet et domaine d'application :**

La détermination du taux de cendre principalement répartie dans les enveloppes et le germe, permet de donner une indication sur le taux d'extraction en semoulerie.

❖ **Mode opératoire :**

Détermination de la teneur en cendres.

- Chauffer durant 10 min des nacelles dans un four réglé à 900°C+25°C, et les peser à 0.1 mg près.
- Mettre dans les nacelles 5g de la semoule.
- Humecter la prise d'essai dans la nacelle avec 2ml d'éthanol 95%.
- La porte du four étant ouverte, placer et sont contenue à l'entrée du four, réglé à 900°C jusqu'à ce la matière s'enflamme.
- Aussitôt que la flamme est éteinte, placer les nacelles dans le four, pour suivre l'incinération durant environ 2 heures jusqu'à disparition des particules charbonneuse, qui peuvent être incluses dans le résidu et obtention d'une couleur gris clair ou blanchâtre.
- Retire progressivement les nacelles du four et les mettre à refroidir dans le dessiccateur jusqu'à la température ambiante, et puis les peser.

• **Expression des résultats :**

Le taux de cendre rapporté à la matière telle quelle :

$$\frac{M_2 - M_0 \times 100}{M_1 - M_0}$$

M0 : la masse en gramme de la nacelle.

M1 : la masse en gramme de la nacelle et de la prise d'essai.

M2 : la masse en gramme de la nacelle et du résidu.

H : la teneur en eau exprimée en pourcentage en masse de l'échantillon

c - **Détermination teneur en matière grasse :**

Méthode utilisé : la détermination de la teneur en eau est effectuée sur la base d'une méthode qui porte la référence N.A. 06.95.04 5.

• **Définition**

Les corps gras sont les substances organiques qui peuvent être extraites à partir des fruits et végétaux par des solvants organiques non polaires au moyen de l'appareil Soxhlet.

Mode opératoire :

- Sécher le ballon de 500ml à l'étuve à 105°C pendant une heure
- Refroidir le ballon au dessiccateur pendant 30 mn
- Peser le ballon
- Introduire 20g d'échantillon dans la cartouche de papier filtre
- Placer la cartouche avec la prise d'essai à l'intérieur de l'appareil Soxhlet
- Verser 250 ml de l'éther de pétrole dans le ballon
- Chauffer le ballon sur le chauffe ballon pendant 4 h (12 siphonages par heure)
- Sécher le résidu du ballon dans l'appareil rota-vapeur
- laisser le ballon dans l'étuve à 80°C pendant 24 h
- peser le ballon avec l'huile extraite en g
- Expression des résultats

La teneur en matière grasse est calculée selon la formule suivante :

$$MG\% = (P2 - P1) / P3 \times 100$$

MG % : teneur en matière grasse en pourcentage.

P1 : Poids du ballon vide en gramme.

P2 : Poids du ballon avec huile extraite en gramme.

P3 : Poids de la prise d'essai en gramme.

d - Détermination de la teneur en protéines :

Méthode utilisé : la détermination de la teneur en protéines est effectuée sur la base d'une méthode KJELDAL qui porte la référence N.A. 1 .1.85..1990.

Appareillage :

- Broyeur ;
- balance analytique ;
- étuve réglable à 125 °C
- Agitateurs électromagnétique ;
- Titrateur automatique (titroline 5000) avec un PH mètre intégré;
- Dessiccateur
- Digesteur
- Scruber
- Distillateur
- Refroidisseur

Verrerie :

- Erlenmeyer de 250 ml ; erlenmeyer de 100 ml
- Eprouvette de 100 ml
- Pipette 5 ml ;
- Bateaux whatman
- Spatule
- Tubes de digestion de 250 ml
- Barreaux magnétiques

Réactifs :

- Acide sulfurique H₂SO₄(97-99)%
- Catalyseur de minéralisation kjeltabs ou le mélange de (sulfate de cuivre et sulfate de potassium)
- La soude NaOH 40%
- Hcl 0.1 N
- Acide borique 4% avec indicateur (rouge de méthyle et vert de bromocrésol)

Préparation des solutions :

Rouge de méthyle : dissoudre 0.1 g de rouge de méthyle dans 100 ml d'éthanol 95%

Vert de bromocrésol : dissoudre 0.1 g de vert de bromocrésol dans 100 ml d'éthanol 95%

- Acide borique 4%
- Dissoudre 400 g d'acide borique en poudre dans 5-6 l dans l'eau distillée bouillante, agiter et compléter jusqu'à 9 l
- Laisser la solution se refroidir à la température ambiante
- Ajouter 100 ml de vert de bromocrésol et 70 ml de rouge de méthyl
- Diluer jusqu'à 10 l avec de l'eau distillée et mélanger la solution délicatement.

Ajustement du borique 4% :

- Verser 25 ml de l'acide borique à ajuster dans un erlenmeyer de 250 ml,
- Ajouter 100 ml d'eau distillée, si la couleur reste rouge, on titre au NaOH 0.1 N jusqu'au virage du rouge au gris
- A partir du volume de NaOH versé on calcule la quantité nécessaire de NaOH à ajouter pour ajuster la totalité de la solution (10l)

Calibration du Hcl 0.1N :

- Sécher 2-3 g de carbonate de sodium anhydre dans l'étuve pendant 2h à 130°C, laisser refroidir dans le dessiccateur
- Peser 0.4 g de Na₂CO₃ (W1) and un erlenmeyer pré-séché, ajouter 40 ml d'eau distillée, 8 gouttes de rouge de méthyle et 8 gouttes de vert de bromocrésol (la solution devient verte)
- Titrer à l'Hcl 0.1 N jusqu'au virage de la couleur du vert au rose noter le volume versé (A1)
- Mettre l'erlenmeyer sur une plaque chauffante pour quelque minute, jusqu'à ce que la couleur redevienne verte, la refroidir rapidement sous l'eau coulante du robinet
- Retirer la solution jusqu'au virage de nouveau au rose et noté le deuxième volume versé (A2)
- Reproduire les mêmes étapes 3 fois jusqu'à obtention de 3 volume A1, A2 , et A3
- Calculer la molarité de l'Hcl comme suit : $Hcl (M) = 18.870 * W1 / (A1 + A2 + A3)$

Procédure :

- Bien mélanger l'échantillon
- Broyer l'échantillon à analyser (l'échantillon doit être ≤ 1 mm)
- Peser 0.6g pour la graine et 0.7 g pour le tourteau dans les bateaux, les glisser délicatement à l'intérieur des tubes de digestion tout en faisant attention à conserver la totalité de la masse
- Ajouter deux pastilles de catalyseur ou (7 g de sulfate de potassium et 0.8 g de sulfate de cuivre) dans chaque tube
- Verser 15 ml de H₂SO₄ dans chaque tube
- Poser le support des tubes doucement sur le bloc de digestion préalablement préchauffée jusqu'à la température recommandée pour le test de 390 – 420 °C pendant 1h30 à 2h
- Allumer le scrubber
- Retirer le support des tubes du digesteur et le laisser refroidir pendant 30 min
- Programmer le distillateur à versé 70 ml d'eau distillée, 60 ml de NaOH 40% dans chaque tube avec un temps e distillation de 8 min 20 scd et une pression vapeur de 85%
- Verser dans l'erlenmeyer ou l'on va recevoir la solution à titrer 30 ml d'acide borique 4 %
- Titrer au Hcl 0.1 N jusqu'au PH 3.8 (virage du vert au rose persistant pour 30 secondes)
- A chaque changement de borique l'on considère un nouveau échantillon blanc en lançant un tube contenant juste de l'acide sulfurique et du catalyseur et noter le volume de Hcl 0.1N versé pour cette solution

- Lancer avec chaque cycle d'analyse un échantillon de standard comme référence en pesant 0.5 g d'acétanilide dont le pourcentage de protéine est connu (64.7-65.5)%

Solubilité de la protéine dans le KOH 0.2% (dissoudre 2.4g dans un litre d'eau)

- Peser 1.5 g d'échantillon dans un erlenmeyer de 100 ml et noter m1
- Verser 75 ml de solution de KOH 0.2%
- Mettre en agitation pendant 20 min
- Verser dans des tubes de centrifugeuse et centrifuger pendant 20 min
- Prendre 5 ml de la solution et la mettre dans le tube d'essai plus catalyseur et 15 ml d'acide sulfurique
- Calcul :

$$M = m1 * 5 / 75$$

Calcul :

$$\% \text{ Nitrogène} = (T-B) * N * 14.007 * 100 / \text{masse de l'échantillon (mg)}$$

Ou

T = le volume de titrant versé jusqu'au point de virage

B = le volume de titrant versé jusqu'au point de virage pour l'échantillon blanc

N = la normalité du Hcl

$$\% \text{ Protéine} = N * F$$

$$\text{Ou } F : (\text{le facteur du protéine}) = 6.25$$

e- Détermination de taux d'affleurement (granulation) :

❖ Définition :

Le taux d'affleurement est la quantité de semoule et du couscous extraite ou refusée par un tamis dont la garniture à une ouverture de maille qui est choisie en fonction de la finesse et de la granulométrie désirées.

Elle est effectuée selon la norme française N.F.V. 03.712.

❖ Principe :(classement selon la taille)

Le calibrage des particules de semoule ou du couscous est très important, on veut obtenir une bonne hydratation car les capacités d'hydratation est en fonction de la surface de contact des particules fines absorbent plus rapidement que les grosses, donc il est nécessaire de procéder à la mesure de la composition granulométrique de semoule avant sa transformation en pate alimentaire.

❖ Mode opératoire

- Peser 100g de semoule ou du couscous à l'aide de la balance précise à 0.01g près.
- A l'aide d'un plansichter de laboratoire, verser l'échantillon dans le premier tamis qui doit avoir une extraction totale au tamis.
- Fermer bien le couver et lancer l'opération durant 5 mn.
- Peser les refus de chaque tamis et constater l'extraction du tamis.

f- Détermination de l'acidité grasse :

Méthode utilisé : La détermination de l'acidité grasse est effectuée sur la base d'une méthode qui porte la référence N.A. 1.1.82 .1990

Méthode de détermination de l'acidité grasse dans les farines et les semoules de blé:

La présente méthode de référence N.A. 1.1.82 .1990 décrit une technique de détermination de l'acidité grasse dans les farines et les semoules de blé. Cette méthode s'applique également aux pâtes alimentaires.

1. Définition :

L'acidité grasse est l'expression conventionnelle des acides, essentiellement des acides gras libres, extraits dans les conditions qui suivront. Elle est exprimée en grammes d'acide sulfurique pour 100g de matière sèche.

2. Principe :

Mise en solution des acides dans l'éthanol à 95 % (v/v) à la température du laboratoire, centrifugation et titrage d'une partie aliquote de la solution surnageante par l'hydroxyde de sodium.

3. Réactifs :

Tous les réactifs doivent être de qualité analytique et l'eau utilisée doit être de l'eau distillée.

Ethanol (alcool éthylique) à 95 % (v/v).

Hydroxyde de sodium (NaOH) :

Solution titrée à 0,05N dans l'eau distillée dont on aura éliminé le dioxyde de carbone par ébullition. Cette solution doit être exempte de carbonates et doit être conservée dans un flacon en verre inactinique.

Le litre de la solution doit être vérifié immédiatement avant chaque série de détermination de l'acidité.

Phénolphaléine solution à 1g pour 100 ml dans l'ethanol à 95% (v/v).

4. Appareillage :

Balance précise à 0,01g.

Broyeur permettant un broyage rapide et uniforme, sans provoquer d'échauffement sensible du produit et en évitant au maximum le contact avec l'air extérieur (cas des semoules et des pâtes alimentaires).

Tamis en toile métallique de 1mm d'ouverture de maille pour les farines et de 160µm et de 500µm d'ouverture de maille pour les semoules et pâtes alimentaires.

Centrifugeuse à 5000-6000 tours/min.

Tubes de centrifugeuse de 45 ml en verre ou en plastique neutre bouchés hermétiquement.

Tubes de 50 ml en verre ou en plastique neutres bouchés hermétiquement.

Pipettes précises de 10 et 20 ml.

Fioles coniques ou **erlenmeyers** de 250 ml.

Micro-burette, graduée en 0,01 ml.

Agitateur rotatif mécanique, 30-60 tours/min

5. Conditions de conservation :

Les échantillons ne doivent pas être conservés à la température du laboratoire plus d'une journée, l'acidité augmente pendant le stockage. Les conserver en flacons étanches à 4°C environ. Avant chaque prélèvement, pour analyse, laisser cet échantillon revenir à la température du laboratoire dans le flacon étanche.

6. Mode opératoire :

Nombre de déterminations :

Faire deux déterminations sur le même échantillon pour essai.

Préparation de l'échantillon pour essai :

Cas des farines : Prélever environ 50 g de farine et les tamiser à l'aide du tamis de 1mm d'ouverture de maille (4.3), de manière à désagréger les agglomérats éventuellement présents.

Cas des semoules et des pâtes alimentaires : Broyer environ 50 g de produit à l'aide du broyeur (4.2) de telle manière que la totalité du broyat passe au travers du tamis de 500 µm d'ouverture de maille (4.3) et qu'au

moins 80 % passent au travers du tamis de 160 μm d'ouverture de maille (4.3).

Détermination de la teneur en eau :

Effectuer immédiatement la détermination de la teneur en eau selon la méthode de détermination de la teneur en eau dans les céréales et produits céréaliers.

Prise d'essai :

Peser à 0,01g près environ 5g de l'échantillon pour essai, après l'avoir bien homogénéisé.

Détermination :

Extraction :

- Introduire la prise d'essai dans le tube de centrifugeuse.
- y ajouter à la pipette 30 ml d'éthanol (3.1) et fermer le tube hermétiquement.
- Agiter pendant une heure à l'aide de l'agitateur rotatif mécanique (4.10) en opérant à une température de 20°C, 5°C. Centrifuger ensuite à deux reprises et successivement pendant 2 min.

Ces deux centrifugations sont plus efficaces qu'une seule de plus longue durée car elles permettent d'éliminer les particules restant en suspension.

NOTE :

Si les tubes de centrifugeuse préconisée par cette méthode ne s'adaptent pas à l'agitateur rotatif mécanique (4.10), il y a lieu d'utiliser les tubes de 50 ml (4.6) pour l'extraction et d'effectuer ensuite un transvasement pour la centrifugation.

Titrage :

- Prélever à la pipette 20 ml du liquide surnageant parfaitement limpide et les verser dans une fiole conique (4.8) ;
- Ajouter 5 gouttes de phénolphtaléine (3.3) ;
- Titrer à l'aide de la micro-burette (4.9) avec la solution d'hydroxyde de sodium 0,05 N (3.2), jusqu'au virage au rose pâle persistant quelques secondes.

Essai à blanc :

Titre l'acidité apportée par l'alcool (3.1), en opérant sur 20ml d'éthanol suivant les conditions (6.5 .2).

7. Expression des résultats :

Mode de calcul et formules :

Acidité exprimée en grammes d'acide sulfurique pour 100 g de matière telle quelle :

$$\frac{7,35 \times (v_1 - v_0) \times T}{m}$$

Acidité exprimée en gramme d'acide sulfurique pour 100g de matière sèche :

$$\frac{7,35 \times (v_1 - v_0) \times T}{m - H}$$

où:

V₁ : est le volume, en millilitres, de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour la détermination ;

V₀ : est le volume, en millilitres, de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour l'essai à blanc ;

m : est la masse, en grammes, de la prise d'essai ;

T : est le litre exact de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée ;

H : est la teneur en eau, en pourcentage en masse, de l'échantillon pour essai.

g- Mesure de la couleur

➤ **Définition** : La mesure de la coloration de la semoule est d'un intérêt surtout commerciale. Elle est considérablement influencée par les blés mis en œuvre (teneur en pigment caroténoïdes et en lipoxygénase) et les conditions de mouture (Salmi *et al.* 2015).

➤ **Intérêt** : Le consommateur cherche des pâtes claires de belle couleur jaune ambrée qui ne présente pas des piqures.

➤ **Principe** : Le principe repose sur l'analyse de l'énergie lumineuse réfléchiée par un échantillon de semoule (où pâte alimentaires) de granulométries homogène. Il se caractérise par 03 composantes : l'indice de jaune et l'indice de brunet indice de clarté qui sont déterminés à l'aide d'un colorimètre de type Konica Minolta modèle CR-410 (KONICA MINOLTA, Japon).

➤ **Appareillage :**

- ✓ Colorimètre CR-410
- ✓ Tube de projection lumineuse CR-A33e.

➤ **Matériel et méthodes**

- ✓ Baguette en plastique.
- ✓ plaque en verre.



Figure N°08 : Matériel utilisé pour déterminer la couleur de matière première

- **Mode opératoire :** La mesure est fait avec un chroma mètre de type KONICAMINOLTA CR-410.

Une quantité de semoule a été posé dans une baguette en plastique jusqu'au remplissage ; en utilisant une plaque en verre pour rendre la surface de semoule régulière (**Fig. 15a**) ; puis placer le tube de projection sur la baguette en plastique et le chroma- mètre sur le tube enfin Appuyer sur la touche « mesurer». Le résultat est affiché directement sur l'écran de l'appareil.

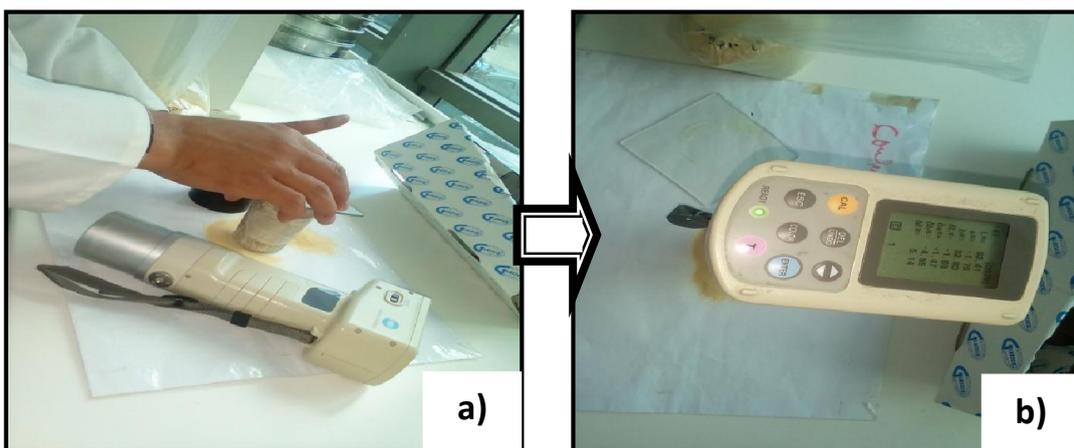


Figure N°09 : Mesure de la couleur de matière première .

a) Remplissage la baguette par la semoule.

b) Affichage de résultat.

h- Mesure de la teneur en gluten :

➤ **Définition** : Le gluten est le composant fonctionnel des protéines. Ses propriétés déterminent les caractéristiques de la pâte et influencent la qualité du produit final. Le gluten est obtenu par une lixiviation, afin de se débarrasser de l'amidon. La totalité du gluten obtenu est le gluten humide. Le gluten sec est obtenu après élimination de l'eau à l'aide du « **glutork** ».

➤ **Intérêt** : Le gluten a un intérêt principalement technique, il représente la fraction insoluble des protéines, présente la caractéristique de pouvoir former un réseau viscoélastique dont les propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité ont une influence sur le comportement de la pâte.

➤ **Principe** : l'extraction du gluten est réalisée par malaxage mécanique et lavage d'un mélange de semoule avec une solution d'eau salée à l'aide d'un Système Glutomatic puis le pesé.

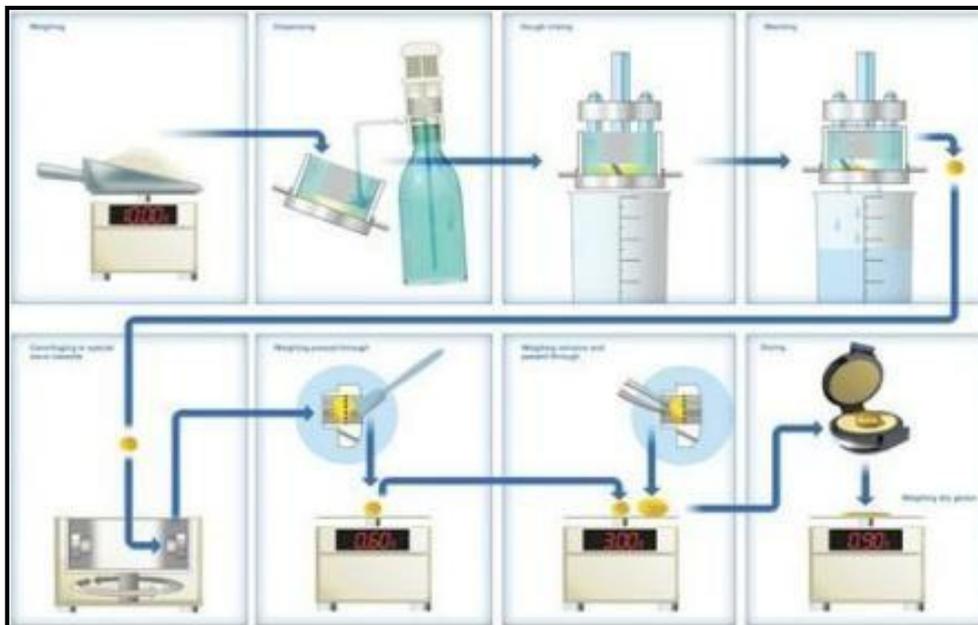


Figure N°09 : Illustration des étapes de la méthode de mesure de gluten

➤ **Appareillage** :

- ✓ Glutomatic.
- ✓ Balance de précision à 0.01.
- ✓ Bécher de récupération de l'eau de lavage 600ml.
- ✓ 02 Chambres de lavage 88µm pour la farine lisse
- ✓ Casette tamis Gluten Indice 88 µm.
- ✓ Pipette automatique.
- ✓ Pince.
- ✓ Pissette d'eau distillée.
- ✓ Centrifugeuse à vitesse de rotation fixée avec précision (vitesse = 6000trs/min).
- ✓ Glutork 2020. Plaque chauffante.

Mode opératoire : Pour des résultats fiables l'utilisation d'eau distillée est préconisée, aussi, une solution de Chlorure de Sodium à 20 g/l préparer quotidiennement.

a) **Gluten humide :** La détermination de la teneur en gluten humide se base sur l'extraction du gluten à partir de 10 g de semoule est déposée dans chaque chambre de lavage du Glutomatic équipée d'un tamis.

L'extraction se fait par l'ajout d'une solution saline (4.8ml de Na Cl à 2%) à l'aide d'une pipette automatique dans chaque chambre et par un malaxage mécanique suivit d'une lixiviation automatique grasse à un système glutomatic.

Après 5 min de malaxage le gluten est délicatement récupéré, la boule de gluten est lavée et placée à l'intérieur de la cassette de centrifugation (vitesse = 6000trs/min).

La partie du gluten restant sur la filière (gluten résiduel) est ensuite retirée et peser avec la partie ayant traversé la filière de façon à connaître le poids total de gluten(gluten humide).elle est pesée et calculée comme suit :

$$GI (\%) = \frac{\text{masse de pâteon humide} - \text{la masse de gluten fiable} * 100}{\text{masse pâteon humide}}$$

b) **Gluten sec :** La détermination du gluten sec se fait par séchage de la totalité du gluten humide.

La masse du gluten humide est mise 4min dans une plaque chauffante à 150°C. Après séchage on pèse le gluten. Le gluten sec est calculé comme suit et donné en pourcent :

$$GS(\%) = \frac{\text{Moyenne des masses pâteons sec} * 100}{10}.$$

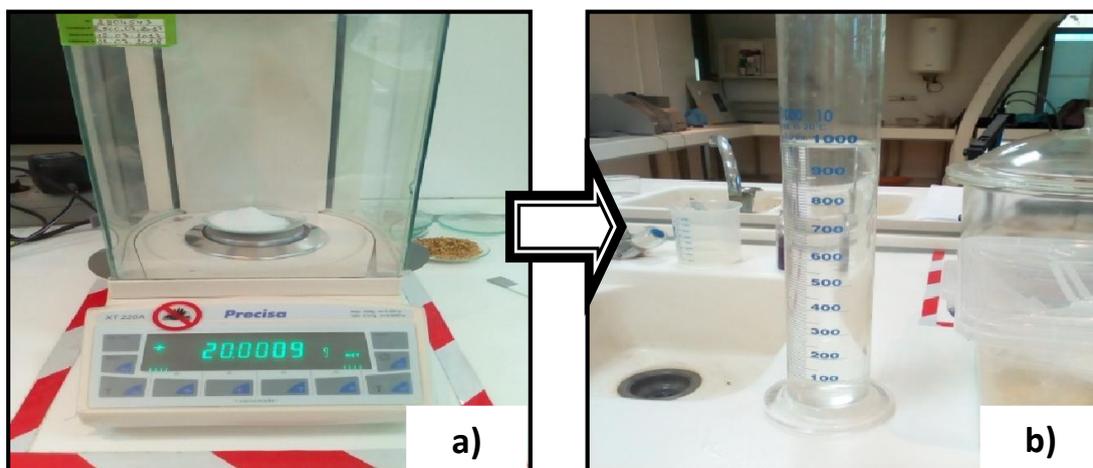


Figure 10 : Préparation d'eau salée.

a) pesage de sel.

b) Homogénéisation de sel avec l'eau.

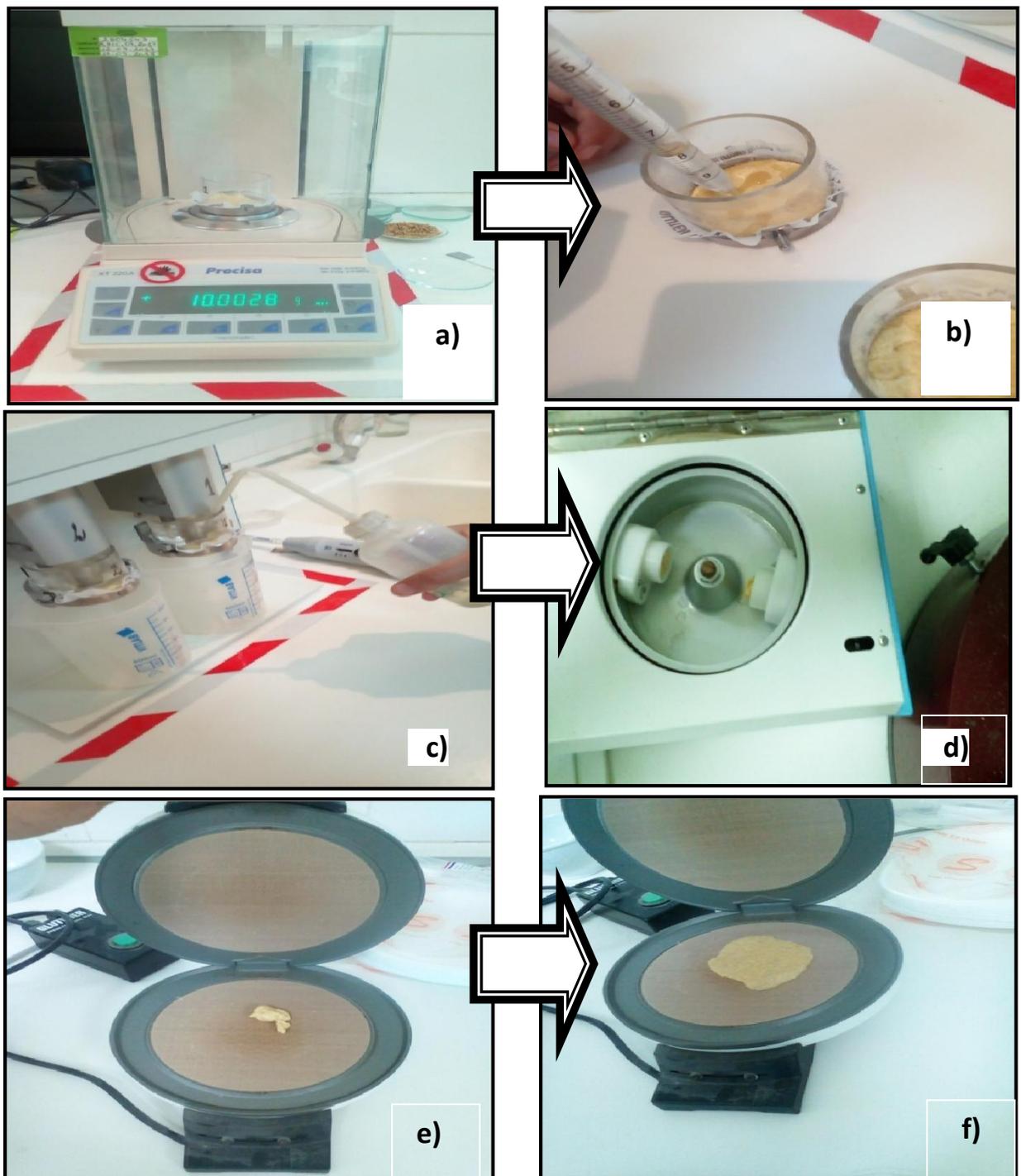


Figure N° 11 : Analyse de gluten de la matière première.

- a) Pesage de la semoule. b) Dispersion d'eau sur la surface d'échantillon.
 c) Installation des chambres. d) Installation de gluten dans la centrifugeuse.
 e) Position du gluten humide sur la plaque chauffante. f) Gluten sec.

II-4 Les analyses effectuées sur l'eau de fabrication:

a. Détermination de titre alcalimétrique(T.A) :

La détermination de titre alcalimétrique simple (T.A) est effectuée selon la norme AFNOR ,1986

❖ Définition :

Le titre alcalimétrique ou TA mesure la teneur de l'eau en ions hydroxydes et de la demi-concentration en ions carbone.

$$TA= [OH]+1/2 [CO_3]$$

❖ Principe :

La détermination de TA et TAC est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

❖ Mode opératoire :

- Prélever 100ml d'eau à analyser dans bêcher, ajouter 2 ou 3 gouttes de la solution alcoolique de phénolphtaléine (1%).
S'il y a apparition d'une coloration rose : présence de H₂CO₃ libre à l'état de traces.

V₁ : est le volume d'acide sulfurique (N / 10) de virage de la couleur rose.

❖ Expression des résultats :

Le titre alcalimétrique exprime en degré français et donné par la relation :

$$TA= V_1 \times 5 (^\circ F)$$

V : le nombre de millimètres d'acide versés

F° : degré français

b. Détermination du TAC :

❖ Définition

Le titre alcalimétrique complet TAC correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres carbonates et bicarbonates.

$$TAC= [OH] + \frac{1}{2} [CO_3] + [HCO_3]$$

❖ Principe

La détermination de TA et TAC est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré

❖ Mode opératoire

Sur le même échantillon, ayant servi à la détermination du TA.

- Ajouter 2 ou 3 gouttes rouge de méthyle la couleur devient jaune.

- Titrer avec l'acide sulfurique H₂SO₄ (N/10) jusqu'à le jaune vire à l'orange (pH = 4.3) un excès de l'acide sulfurique provoque le passage la couleur au rose orange.

❖ **Expression de résultats**

Il est donné milliéquivalents par le chiffre (V- 0.1) par la relation.

$$\text{TAC} = (V - 0.1) \times 5 \quad (^\circ\text{F})$$

c. Détermination de TH : (AFNOR, 1986)

❖ **Définition**

Le titre hydrotimétrique indique la teneur total de l'eau en en sel de calcium et de magnésium.

La dureté d'une eau est proportionnelle au nombre total d'atome de calcium et de magnésium qu'elle renferme.

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{+2}] + [\text{mg}^{+2}]$$

❖ **Principe**

Il consiste à doser un échantillon d'eau avec acide éthylène diamine tétra acétique, (EDTA) en présence de NET comme indicateur coloré une solution tampon (pH = 10) qui permet d'augmenter l'alcalinité de la solution.

❖ **Mode opératoire**

- Prélever 50ml d'eau à analyser dans bêcher.
 - Ajouter 5ml de la solution tampon ammoniac pH = 10. Ensuite additionner quelques gouttes de noir urochrome Si la coloration vire au bleu cela indique un TA = 0.
- vire au violet le titrage se fait par la solution EDTA jusqu'à coloration en bleu.

❖ **Expression des résultats**

On lie directement le volume de l'EDTA qui correspond au titre hydrométrique TH en degré Français (°F).

$$\text{TH } (^\circ\text{F}) = V$$

d- Détermination du pH

❖ Principe

Le pH est mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre. Un pH-mètre comporte deux parties :

- Une sonde constituée de deux électrodes trempant dans la solution aqueuse dont on veut mesurer le pH.
- Un boîtier électronique relié à la sonde qui affiche la valeur du pH.

Les valeurs des constantes a et b sont ajustées grâce à un étalonnage du pH-mètre.

❖ Mode opératoire

- Mise sous tension du pH-mètre.
- Mettre l'appareil sur pH.
- Introduire l'électrode dans la solution à contrôler. - Laisser la valeur indiquée se stabiliser.
- Faire la lecture du pH directement sur l'écran.
- Rincer l'électrode par eau distillée après chaque utilisation.

❖ Résultat

Lecture directe de la valeur pH sur le pH-mètre.

II-5 Choix du type de pâtes à fabrication :

Le choix a porté sur la fabrication de pâtes alimentaires longues de type « spaghetti » celles-ci exigent une valeur pastière élevée est une technologie plus élaborée ce qui n'est pas compatible d'une part avec les quantités des matières premières insuffisantes pour faire des essais de fabrication des spaghetti sans gluten au niveau de la ligne de fabrication des pâtes longue de capacité 1700 kg/h .dans ces conditions on a essayé de fabriquer le même format spaghetti au niveau de laboratoire .

II-6. Essai de fabrication des pâtes alimentaires (spaghetti) :

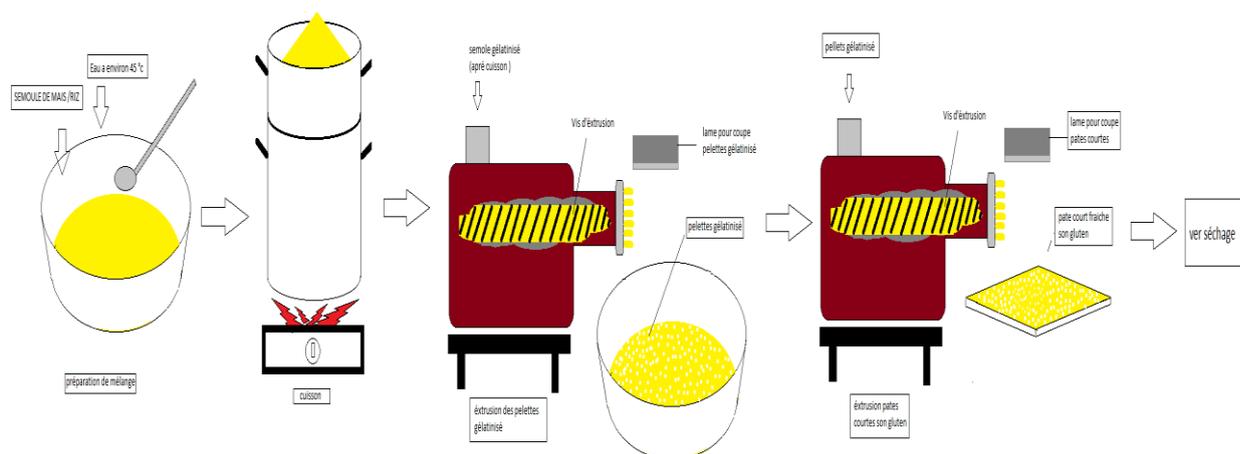


Figure N° (12): Schéma pour la fabrication des pâtes sans gluten à l'échelle de laboratoire.

Descriptions de l'appareillage utilisé :

- Trois récipients en aluminium : utilisés pour récupérer les produits des pelletes et le produit fin (spaghetti)
- Un hachoir : de marque : « telefunke »
- Moule en inox $\varnothing = 8\text{mm}$
- Moule en téflon $\varnothing = 1,5\text{mm}$
- Deux couscoussières
- Cuisinière
- Plateau de ligne lazagne

II-6-1. Préparation des pellets :

a - Hydratation et malaxage :

Introduction des semoules dans le récipient du batteur puis on ajoute l'eau progressivement avec malaxage et homogénéisation jusqu'à obtention d'un mélange homogène.

Tableau N°16 : La quantité d'eau ajoutée

Essai	Quantité d'eau à ajouté
100% Mais	1300 ml
100% Riz	1300 ml
50% Mais et 50% Riz	1300 ml

b - pré-cuisson :

Nous remplissons la casserole d'eau et nous la plaçons sur le four jusqu'à l'ébullition puis nous remplissons le couscoussier avec le mélange préparé précédemment, le posons sur la casserole et commençons à compter le temps jusqu'à la cuisson de mélange, jusqu'à la formation de pâtes avec les deux doigts de main.

Tableau N°17 : Le temps de cuisson de chaque essai montré selon:

Essai	Temps de cuisson
100% Mais	20 mn
100% Riz	15 mn
50% Mais et 50% Riz	18 mn

c - production des pellets :

A l'aide d'un hachoir Telefinken on fait l'extraction de mélange préparé précédemment à travers un moule de diamètre 08mm.

Le but de cette étape c'est de donner la forme.

II-6-2 Mise en forme :

Les pellets obtenus après l'étape précédente et passé dans le même hachoir de marque Telefinkeen qui contient une vis d'extrusion, les pellets passent à travers une filière (moule en téflon Réf 1,5 mm) pour obtenir un format de spaghetti.

Cet essai est répété pour les échantillons restants.

68 : La pâte obtenue « spaghetti » est placée dans des tamis des pâtes spéciales (plateau lazagne) avec les étiquetages de chaque tamis par le type de semoule utilisée et séchées dans des chambres des pâtes spéciales.

Les paramètres utilisés pendant le séchage sont montrés dans la figure suivante :

N°	Time	Min	°C	%	Min	Hz	Min	Hz	Min
1	50	50.0	45.0	4	50	4	50	1	
2	60	60.0	45.0	4	45	4	45	1	
3	60	60.0	60.0	4	40	4	40	1	
4	60	60.0	65.0	4	40	4	40	1	

Les échantillons sont ensuite stockés dans des sacs en plastique à l'abri de l'humidité et à température ambiante

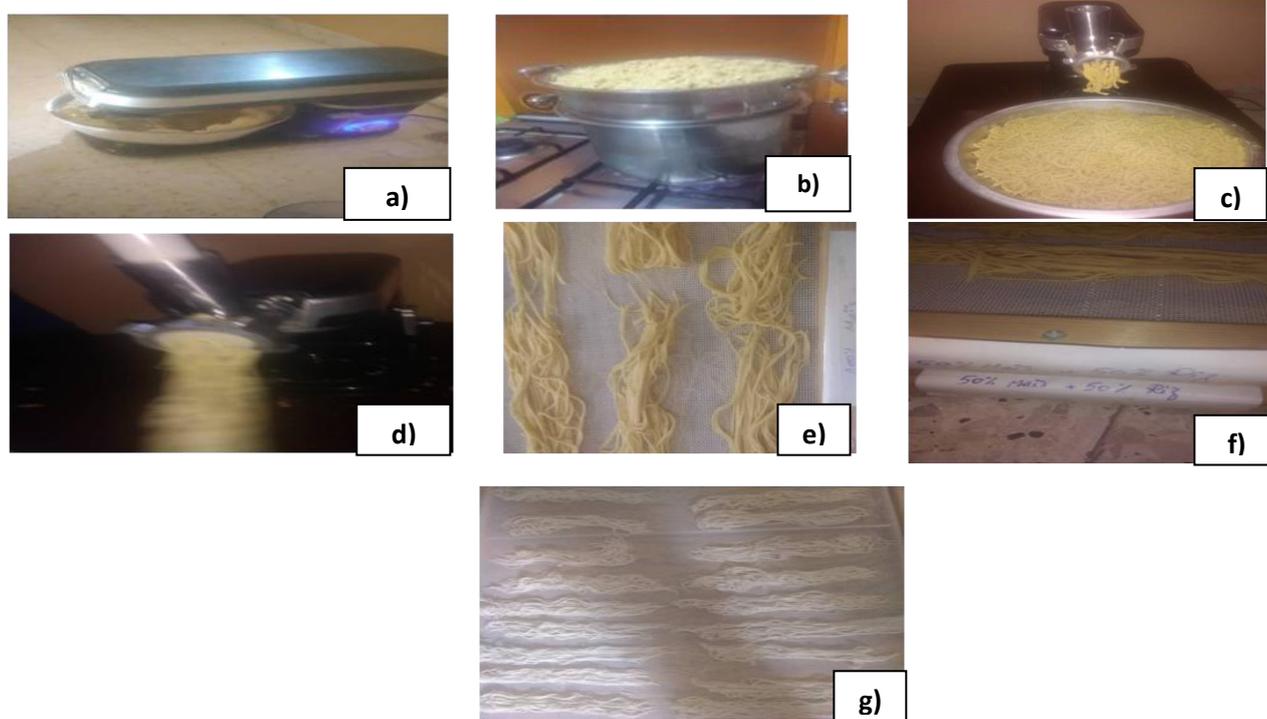


Figure N° (13) : Les étapes de fabrication des produits finis

- a) Pré malaxage b) Pré cuisson a la vapeur c) Production de pellets
 Tréfilage e) Produit fini a l'état fraiche 100% Maïs f) Produit fini a l'état fraiche
 50% Maïs et 50%Riz g) Produit fini a l'état fraiche 100% Riz.

III. Appréciation de la qualité du produit fini « spaghetti »

Les propriétés qui définissent la qualité des pâtes alimentaires sont déterminées à travers leur aspect à l'état cru, leur comportement durant et après la cuisson, leur valeur nutritionnelle et leur état hygiénique (Nasehiet *al*, 2011).

Mais dans notre étude, nous sommes concentrés sur les bases suivantes :

III.1 Aspect de produit fini « spaghetti »

La qualité organoleptique des pâtes alimentaires est un facteur détermination pour leur commercialisation, elle est caractérisée surtout par la couleur et l'odeur et la présence ou non de gerçures.

- **Couleur de la pâte:** La couleur de la pâte après séchage est un paramètre fondamental pour le consommateur et aussi pour l'entreprise à partir de le commerce du produit final.
(voir hist n° 09)

Appareillage :

- a) Broyeur
- b) Tamis
- c) Colorimètre CR-410
- d) Baguette en plastique.
- e) plaque en verre.

Mode opératoire : Même principe de détermination la couleur de la matière première mais la différence entre les deux méthodes (la couleur de semoule et la couleur de la pâte) c'est la matière utilisé. à l'aide a une broyeur, nous avons broyé sur la taille des particules une quantité de la pâte séché de chaque essai (la quantité broyé (**Fig17**) doit être suffisante et les particules homogènes pour remplir la baguette en plastique) ensuite utilisé un tamis pour enlever les petites particules comme la poussière et continué la même manipulation de détermination la couleur de la semoule à l'aide de colorimètre CR-410.les images suivantes sont montrées le processus de broyage une quantité de la pâte séché.

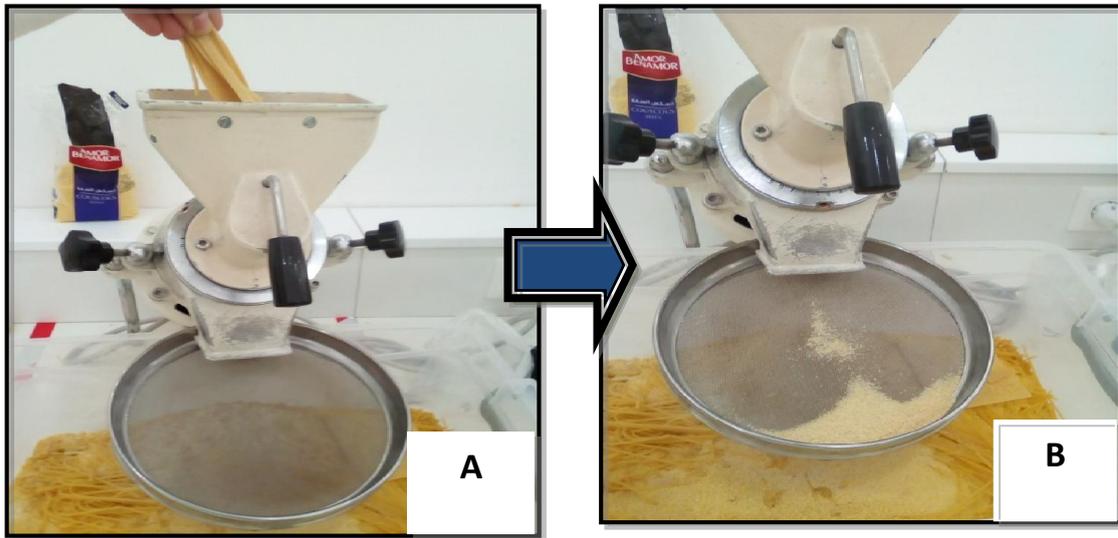


Figure N° (14) : Broyage de la pâte sèche

a) Pâte avant broyage.

b) Pâte après broyage

- **Dimension du produit fini** : Ce paramètre permet de détecter les malformations et les irrégularités dans la fabrication de la pâte dont on sélectionne quelques brins au hasard et on a mesuré à l'aide d'un palmer électronique.

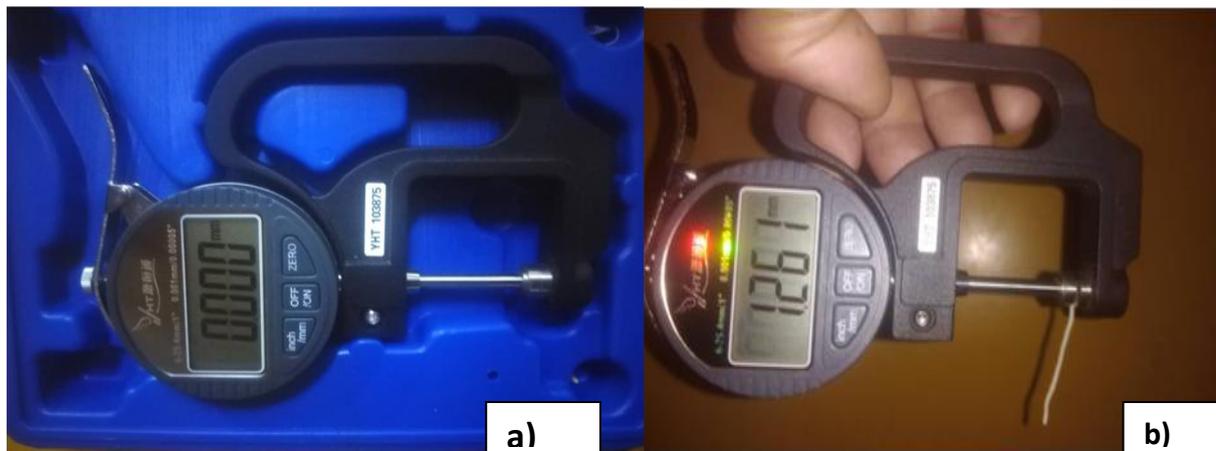


Figure N° (15) : Détermination de la dimension de la pâte sèche .

a) palmer électronique.

b) diamètre de la pâte sèche.

III-2. Teneur en eau de produit fini « spaghetti » :

Après le séchage des pâtes alimentaires de chaque essai, il faut mesurer l'humidité de chaque essai (pâtes pré séchoir et produit fini).

➤ **Appareillage**

- ✓ Broyeur.
- ✓ Dessiccateur halogène HG63ou HG65.
- ✓ Spatule.
- ✓ Etuve Chopin
- ✓ balance

Mode opératoire :

Le principe de mesure l'humidité des pâtes alimentaires aussi c'est même principe de mesure l'humidité de semoule mais après le séchage de la pâte, nous avons broyé une petite quantité (environ égal 10 g) de la pâte à l'aide d'un broyeur, la quantité obtenu a été plus fin ensuite continue avec utilisé la même méthode de référence CHOPIN pour déterminé tous les teneurs en eaux pour tous les échantillons de pré séchoir et produit fini.

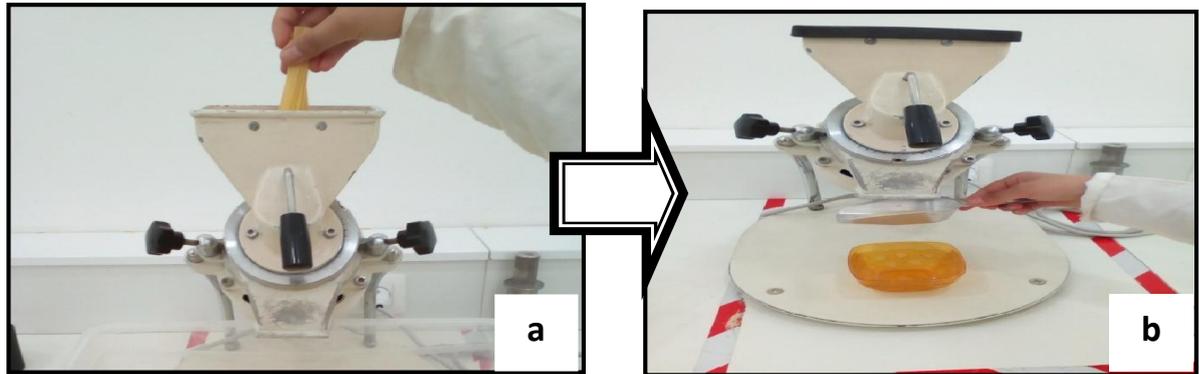


Figure N° (16) : Broyage de la pâte sèche

b) Pâte avant broyage.

b) Pâte après broyage.

- **Le temps optimal de cuisson :**

- **Définition :** Les temps minimal, optimal et maximal de cuisson ce qui correspond respectivement à :

- la durée à partir duquel l'amidon est gélatinisé.
- le temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée,
- le temps au-delà duquel les produits se désintègrent dans l'eau de cuisson (Abe cassis, 2011).

- **Intérêt :** L'état de délitescence des pâtes, c'est à dire l'état de désagrégation superficielle de la pâte cuite.

- **Principe :** Ecraser la pâte cuites entre deux plaques en verre. La disparition d'une ligne centrale blanche est révélatrice de l'état de cuisson minimum

- **Appareillage :**

- ✓ Deux plaques en verre.
- ✓ Chronomètre.
- ✓ Plaque chauffante.
- ✓ Balance

➤ **Mode opératoire :** La cuisson des pâtes est déterminée selon le protocole suivant : un échantillon de 100 g de pâtes est plongé dans 1 litre d'eau distillée chauffé. À des intervalles de temps réguliers (soit toute 1 minute), un brin de pâte est prélevé entre deux lamelles en verre pour évaluer la cuisson des pâtes.

a). Etat de l'eau :

Après la cuisson de la pâte, nous avons séparé la pâte cuite de l'eau dans laquelle elle a été cuite et met la dans un éprouvette graduée pour déterminer la couleur, l'état d'eau et la quantité d'eau restante de la cuisson.

b). Consistance de la pâte

Ce paramètre de qualité culinaire de la pâte a été évalué par le pressage modéré d'une petite quantité de la pâte cuite entre les doigts de la main pour voir le degré du collant de la pâte alimentaire cuite. Plus le collant est faible, plus la pâte est meilleure.

c). Indice de gonflement (Poids à la cuisson)

Le gonflement renseigne sur la capacité d'absorption d'eau des pâtes cuites. La procédure de préparation des échantillons pour la détermination de l'indice de gonflement est la même que celle décrite dans la section de détermination du temps optimum de cuisson.

Le poids à la cuisson ou l'indice de gonflement (IG) est déterminé par la pesée des pâtes égouttées et calculé selon l'équation suivant :

$$\text{IG (\%)} = \text{Poids des pâtes cuites (TOC +1min)} - \text{Poids des pâtes sèches} / \text{Masse pate sèches}$$

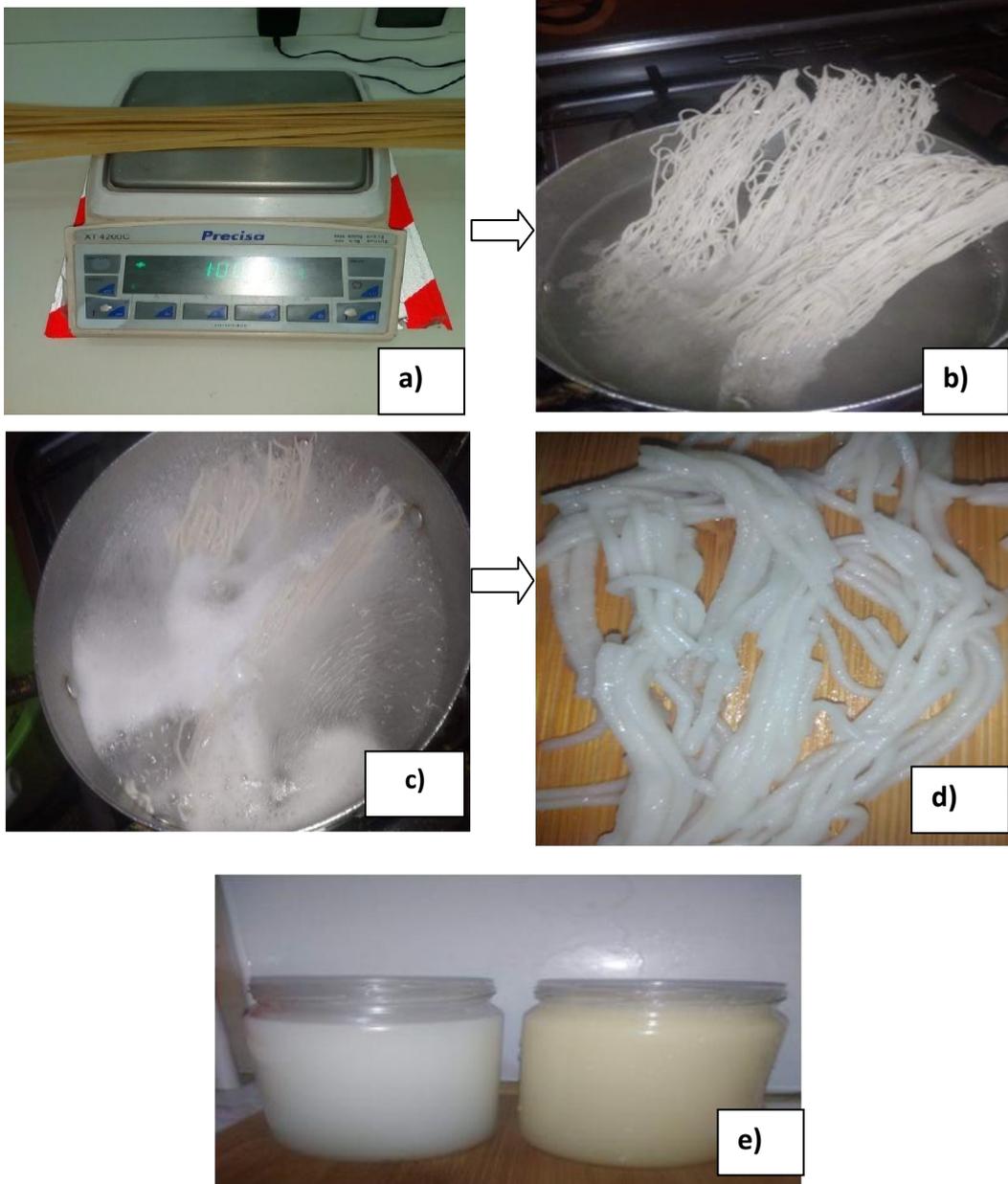


Figure N° (17) : test de cuisson

a) Pesage de la pâte sèche.

b) Ébullition d'eau et ajout pâtes sèche

c) Cuisson de la pâte.

d) Egouttage de la pâte cuite.

e) Détermination l'état d'eau.

IV – Résultats et discussion :

Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques effectuées sur la semoule :

Tableau N°18 : Résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur la semoule

Les analyses effectuées.		3SE			Semoule de Maïs			Semoule de Riz			Normes*
		1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	moyenne	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	moyenne	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	moyenne	
	Prise d'essai (g)	100,00	100,00		100,00	100,00		100,00	100,00		
	Refus du tamis 525 μ (g)	0,00	0,00	0,00	3,30	4,57	4,00	05,10	1,90	3,50	Tolérance de traction 10 %
	Refus du tamis 450 μ (g)	32,97	33,05	33,01	04,70	3,20	3,95	03,70	2,44	3,07	
	Refus du tamis 350 μ (g)	29,37	30,12	29,745	71,20	69,90	70,55	17,96	18,06	18,01	
	Refus du tamis 250 μ (g)	19,22	21,07	20,145	16,07	18,15	17,11	15,00	18,12	16,56	
	Refus du tamis 150 μ (g)	17,14	14,81	15,975	02,90	3,14	3,02	18,80	21,73	20,26	
	Extraction (g)	1,28	0,92	1,10	01,80	0,85	1,32	39,40	36,40	37,90	
	Total (g)	99,98	99,97	99,975	99,97	99,81	99,89	99,96	98,65	99,30	
	Teneur en eau (%)	14,45	14,29	14,37	12,18	11,50	11,84	11,37	11,13	11,25	≤14,50
	Teneur en cendres (%)	0,81	0,83	0,82	0,86	0,87	0,865	0,89	0,91	0,90	0,8 – 1,1
	Teneur en protéines (%)	14,36	14,10	14,23	8,39	9,02	8,70	8,17	7,41	7,79	≥ 11
	Acidité grasses (M.S.)	0,026	0,030	0,028	0,054	0,058	0,056	0,034	0,041	0,037	≤ 0,055
	Matière grasse (M.S)	0,60	0,52	0,56	1,90	1,73	1,81	0;30	0,39	0,34	
Dosage de gluten (%)	Gluten humide	31,89	31,93	31,91	/	/	/	/	/	/	
	Gluten sec	12,92	12,90	12,91	/	/	/	/	/	/	11- 15
	Luminosité	94,62	95,42	95,02	92,00	92,91	92,45	97,66	98,05	97,85	
	Induce de brun (a)	-4,88	-4,67	-4,77	-2,27	-2,43	2,35	-0,90	-0,91	0,905	
	Induce de jaune (b)	35,34	34,94	35,14	32,97	32,75	32,86	6,36	6,55	6,455	

*-Norme algérienne du journal officiel n°2 du 10/08/1998.

IV-1. Analyses physico-chimiques des matières premières :

Les résultats d'analyses effectuées sur les matières premières (3SE, semoule de Maïs et semoule de Riz) sont regroupés dans le tableau n°18).

a) Teneur en eau :

Les produits utilisés en fabrication des pâtes, doivent présenter une humidité comprise entre 11,13 % et 14,45 %.

Les résultats obtenus sont donc conformes à la norme qui est $\leq 14,5$ (voir tableau n°18)

b) Teneur en cendres :

Pour le cas de la 3SE, les matières minérales sont présentes en concentration variable dans l'albumen du grain de blé, les parties les plus rapprochées du son en contiennent plus que celles qui sont situées au centre. Les résultats obtenus concorde avec les normes. (voir tableau n°18)

c) Taux de protéines :

On doit rechercher une teneur raisonnable élevée en protéines ou en gluten humide, parce que la tenue à la cuisson est directement liée à la teneur en protéines. Par exemple en Italie où les semoules doivent contenir au minimum 10,5 % de protéines.

Des recherches ont montré que la teneur en protéines influait sur la teneur à la cuisson.

Dans notre cas la teneur en protéines de 3SE est supérieure au taux optimale d'une semoule destinée à la pastification qui est de 13 % de gluten sec la valeur trouvée expérimentalement pour la 3SE est de 12,91 % de gluten sec. Cette dernière est comprise entre (11% et 15%) CE qui nous permet de dire que notre semoule a une bonne valeur plastifiante, comme on peut dire que notre semoule est de qualité supérieure vu que le taux de protéines (14,23 % M.S).

Tandis que les autres semoules leurs teneur sont inférieures à celles de 3SE (voir tableau n°18).

La teneur en protéines trouvée pour la semoule de Maïs (8,70%) et celle de la semoule de riz 7,79 % corroborent aux résultats cités dans plusieurs travaux 8-11 % (M.S) pour la semoule de maïs et 6,3 – 7,1 % (M.S) pour celle du riz, la proportion des protides dans le Riz est la plus faible par rapport aux autres céréales.

d) Teneur en matière grasse :

L'extraction constitue une opération très délicate car il est toujours difficile d'éviter les dégradations hydrolytiques et oxydatives des constituants qui se produisent au cours des traitements de l'extraction cette dernière ET dépend dans une large mesure de la nature des associations composants.

Pour l'ensemble des produits (semoules) les résultats sont inférieures à 1 % (M.S) sauf pour la semoule de maïs qui a un taux légèrement supérieur

Mais ce qui est évident est la présence des matières grasses en grande quantité dans des semoules rend l'opération des stockages plus difficile.

Pour le cas de Riz au cours de son usinage il y aura une disparition presque complète des lipides du fait de l'élimination de la couche extérieure du caryopse, sous forme des issues de blanchiment. (voir tableau n°18)

e) Acidité grasse :

Dans ce cas l'acidité grasse est due essentiellement aux acides gras solubles dans l'alcool à 95. L'acidité de 3 SE est faible (0,028 % M.S) , elle correspond à une semoule saine , issue d'un blé récente ; elle peut être stockée puisque elle est inférieure à la valeur limitée pour les semoules de blé dur à (0,055 % M. S) .

Pour la semoule de maïs remarque qu'elle a une acidité supérieure de celle de blé et du Riz (voir tableau n°18).

Mais puisque l'huile de Maïs à des niveaux proches de la norme de l'antioxydant naturel, on ne risque pas d'avoir le phénomène d'oxydation des lipides ce qui justifie les faibles teneurs en acides gras (0,056 % M.S).

Pour le cas de semoule de Riz malgré sa faible teneur en acide gras (0,037 % M.S). Le Riz est particulièrement riche en lipase en entraînant une libération des acides gras qui deviennent à part plus sensible à l'oxydation enzymatique se traduisant par un goût de rance défavorable à la qualité.

f) La couleur :

La couleur se caractérise par deux composants : l'indice de jaune et l'indice de brun.

Dans le cas de 3SE l'indice de jaune est élevée et l'indice de brun est faible qui est meilleur pour la couleur des pâtes.

Pour la semoule de maïs l'indice de jaune est plus élevée que l'indice de brun ce qui justifié la belle couleur jaune.

Par contre dans le cas de semoule de Riz l'indice de brun est supérieur à celui de 3SE et l'indice de jaune très faible qui donné par conséquent une couleur grise claire de la semoule. (voir tableau n°18)

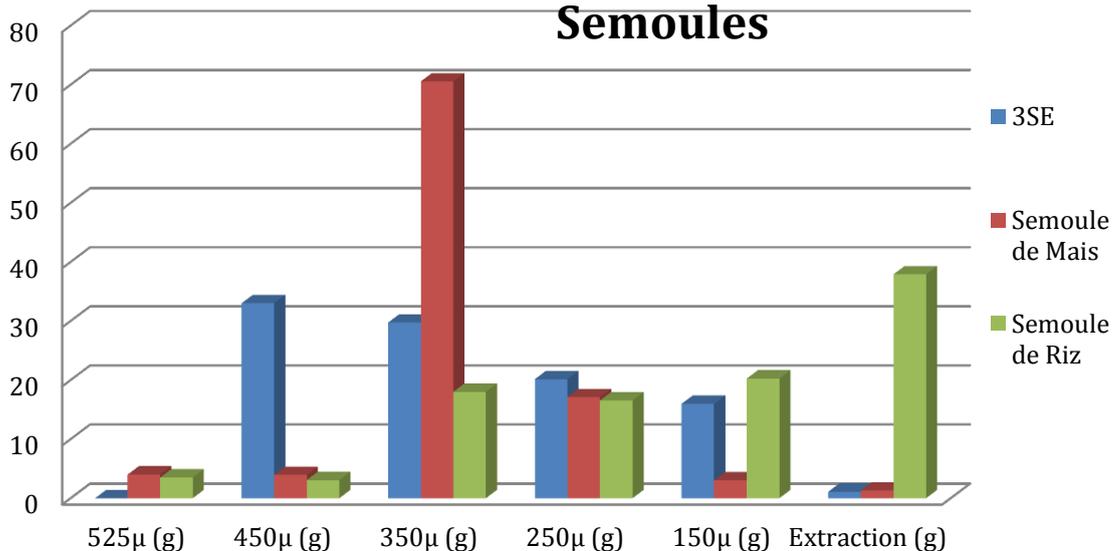
g) Essai de granulation :

La granulométrie des semoules variées d'un pays à l'autre. Une granulation homogène permet une bonne élaboration de la pâte dans les presses.

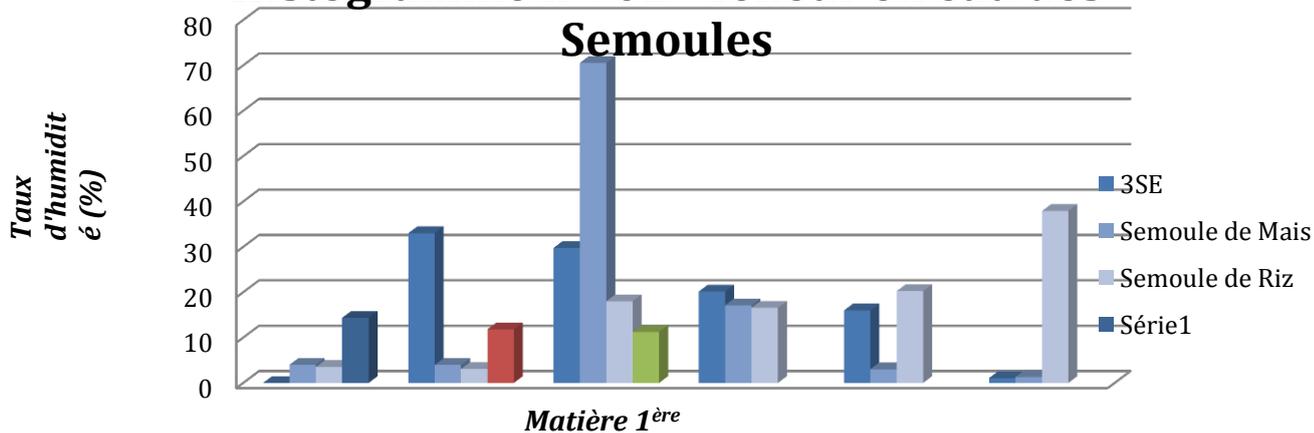
D'après les résultats trouvés on remarque que la somme des refus des tamis de granulation dont l'ouverture de mailles est comprise entre (150 - 525 μ m) étant largement supérieure de 70% plus exactement (98,875%) pour le cas de 3SE et (98,57%) pour le cas de la semoule de Maïs.

Par contre la semoule de Riz est moins homogène que les deux autres semoules (3SE et semoule de Maïs), mais si on remarque les résultats obtenues, on constate que la majorité de la masse est comprise entre l'extraction du tamis 150 μ m qui est très élevée et le refus de tamis 350 μ m, on peut dire que cette semoule est très fine.

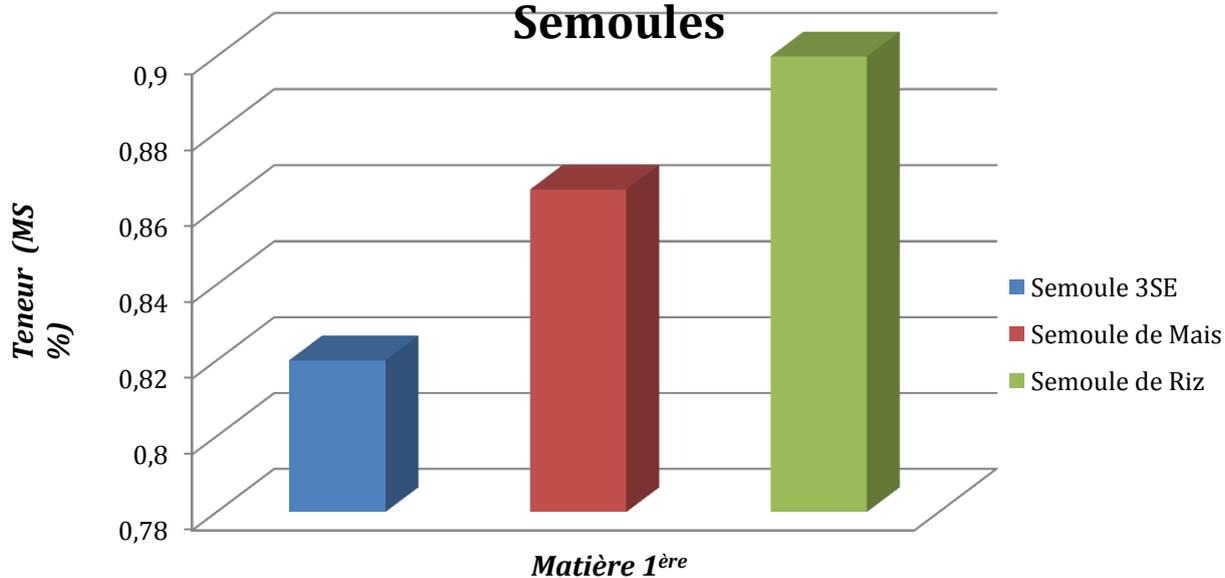
Histogramme n°: 01 Granulation des Semoules



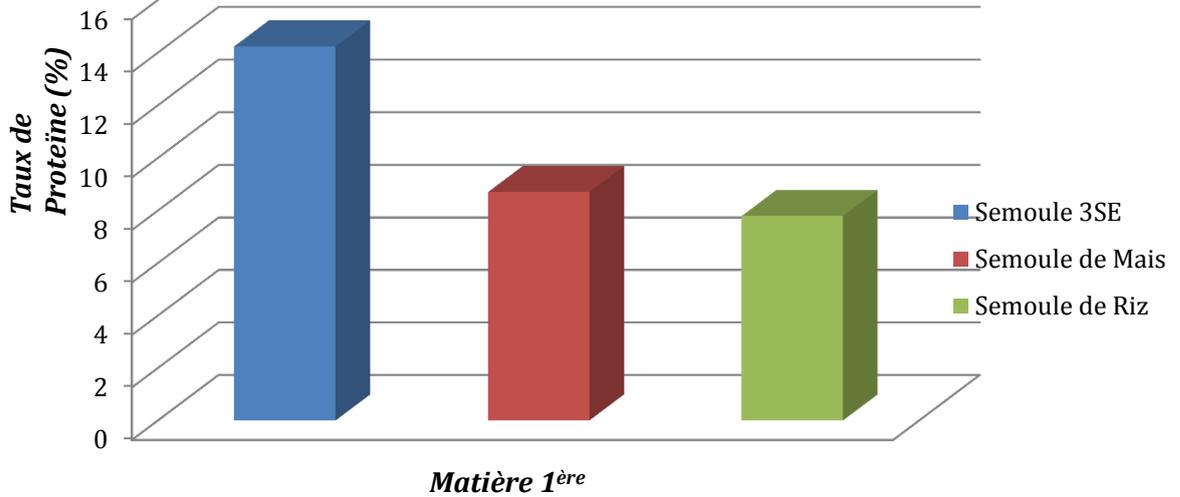
Histogramme n°: 02 Teneur en eau des Semoules



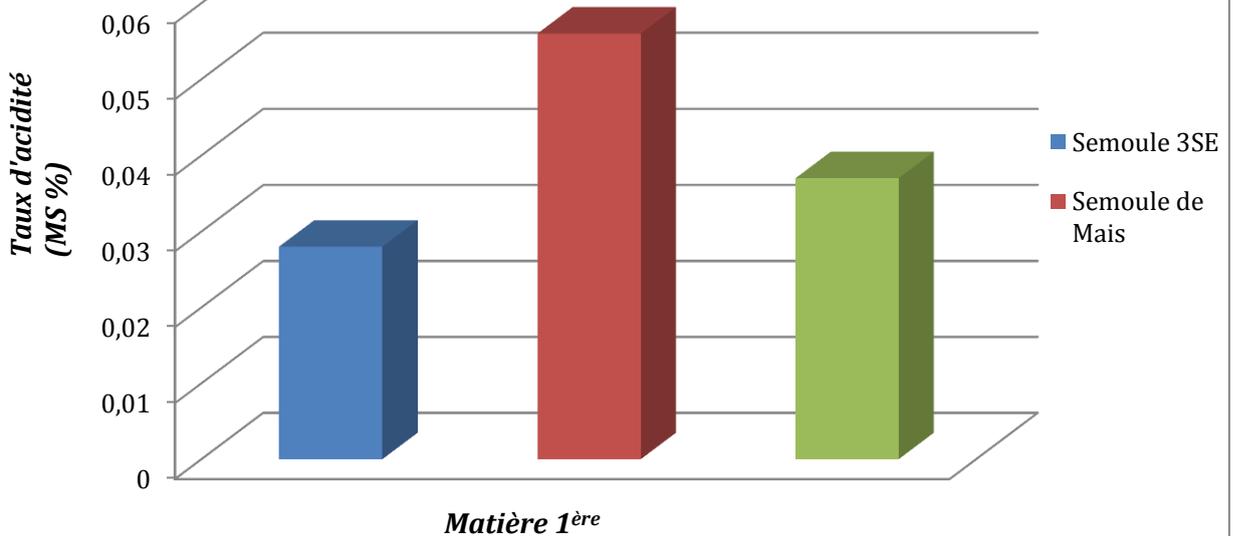
Histogramme n°: 03 Teneur en cendres des Semoules



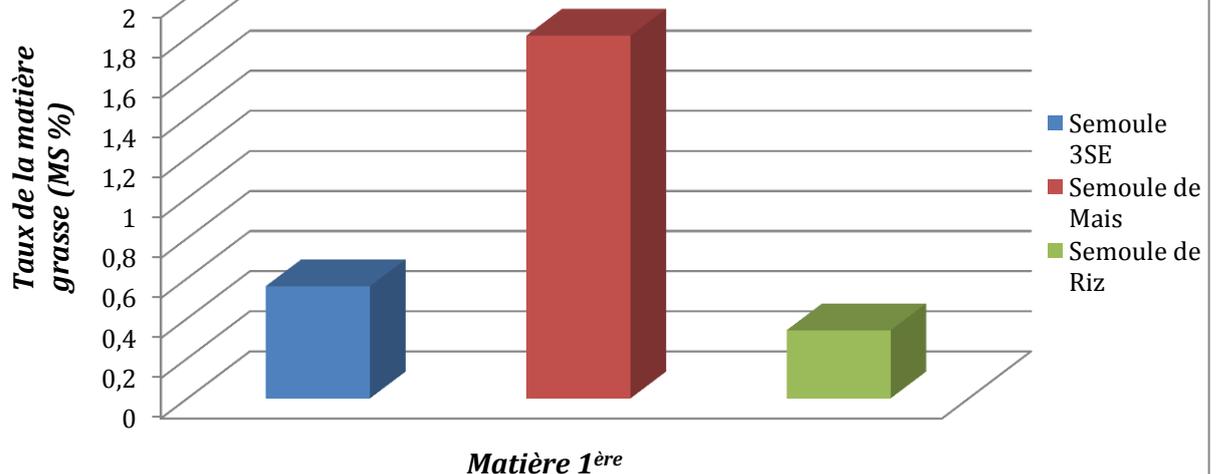
Histogramme n°: 04 Teneur en protéines des Semoules



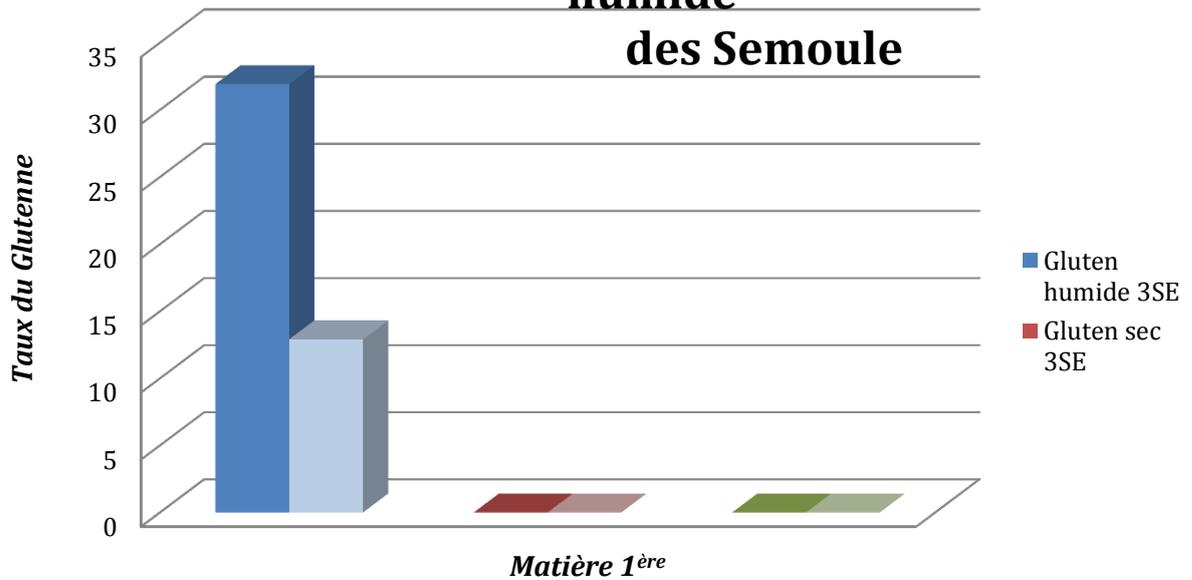
Histogramme n°: 05 Acidité grasses des Semoules



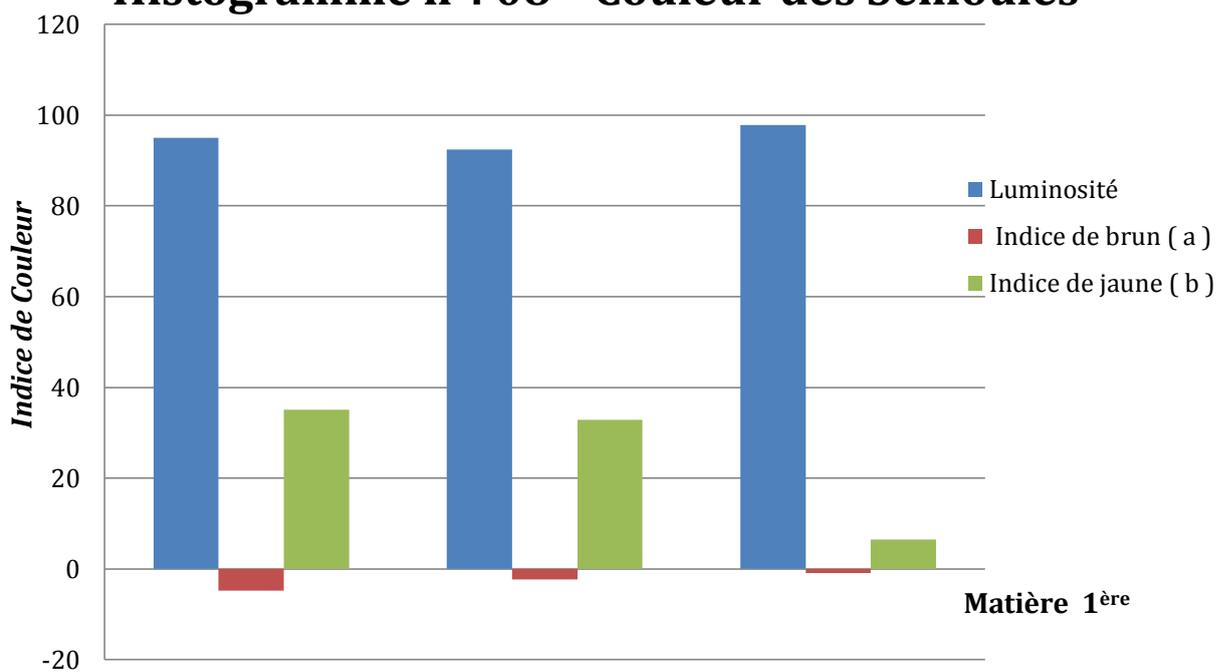
Histogramme n°: 06 Matier grasse des Semoules



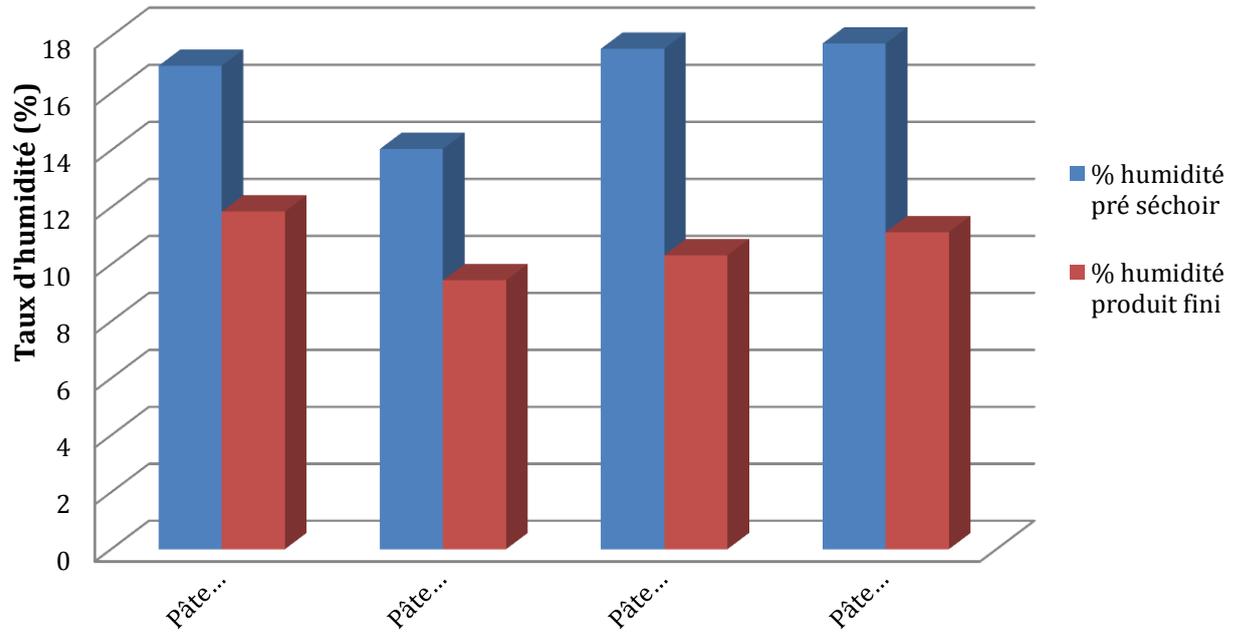
Histogramme n°: 07 Gluten Sec et Gluten humide des Semoule



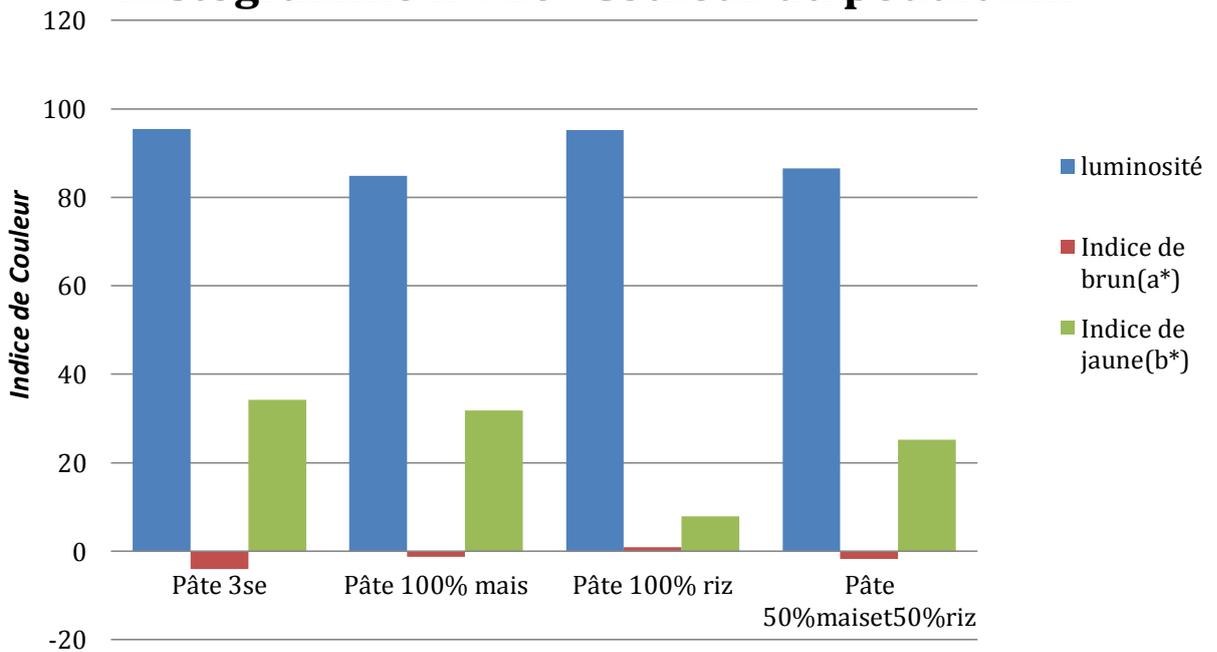
Histogramme n°: 08 Couleur des Semoules



Histogramme n°: 09 Teneur en eau des pâtes alimentaires



Histogramme n°: 10 Couleur du produit fini



❖ **Les analyses physico-chimiques Effectuées sur l'eau :**

Tableau N°19 : les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau

Les analyses effectuées	Echantillon n° 1			Echantillon n° 2			Normes*
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moy.	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moy.	
T.A.	0	0	0	0	0	0	0
T.A.C.	20,00	22,00	21,00	20,00	22,00	21,00	20 – 28
T.H.	27,40	29,20	28,30	27,30	28,10	27,70	21 – 35
Chlorure	230,20	250,10	240,15	230,30	245,20	237,75	200 – 500
PH	7,78	7,89	7,83	7,56	7,92	7,78	≤ 8,3

*-Norme de la qualité de l'eau potable du journal officiel n° 51 – 2000.

Interprétations :

1. T.A.:

Les résultats de nos échantillons sont nuls, cela indique que le P.H. de l'eau est inférieur à 8,3 et explique aussi l'absence d'alcalin caustique.

2. T.A.C.:

Nos résultats montrent que l'eau analysée à une teneur normale (21,00° F, 22,00° F) en carbonates par rapport à la norme décrite.

3. T.H.:

Les résultats de nos échantillons montrent que l'eau analysée possède une faible dureté, qu'elle est conforme à la norme.

4. Chlorure :

Selon les résultats, on remarque que l'eau analysée des trois échantillons contient des valeurs moyennes en chlorures

VI. QUALITES ORGANOEPTIQUES :

IV-2 .Produit fini :

IV-2-1 . Aspect des pâtes alimentaire à l'état cru :

Quatre groupes des caractéristiques déterminent l'aspect des pâtes alimentaires : les gerçures, les piqûres, la texture superficielle et la coloration.

Tableau N° 20 : Caractéristiques qui déterminent l'aspect des pâtes alimentaires

Caractéristiques	Les pâtes au 3SE	les pâtes au Maïs 100%	Les pâtes au 50% Maïs +50% Riz	Les pâtes au Riz 100%
Coloration	Les pâtes présentent une couleur jaune	Les pâtes présentent une couleur jaune Sambre	Les pâtes présentent une couleur jaune blanchâtre	Les pâtes présentent une couleur grise.
Texture superficielle	Les pâtes présentent aux touches une surface lisse (pâtes fabriqué au niveau de ligne de production)	Les pâtes présentent au touches une surface rigoureuse (due ou moule fabriqué en téflon mais les pastilles n'est pas bien fini)	Les pâtes présentent au touches une surface rigoureuse (due ou moule fabriqué en téflon mais les pastilles n'est pas bien fini)	Les pâtes présentent au touches une surface rigoureuse (due ou moule fabriqué en téflon mais les pastilles n'est pas bien fini)
Les piqûres	Présence de quelques piqûres brunes	Présence des piqûres blanches piqûres noires (des traces)	Présence des piqûres blanches et quelle que piqûres brun, piqûre noir des traces	Présence des : - piqûres blanche - piqûre noir (traces)
Gerçures	Manque des gerçures	Plusieurs gerçures sont présente sur le long de la surfaces des pâtes (pâtes fragile que celle au 3SE et sensibles à la casse.	Plusieurs gerçures sont présente sur le long de la surfaces des pâtes (pâtes fragile que celle au 3SE.	des petites fêlures non profond sont présente sur le long de la surface

Remarque : Les pâtes sans gluten qui sont fabriquées à l'aide d'un hachoir déformé (pas droit) due au manque de pression au cour de tréfilage en plus la position de moule de hachoir qui est horizontale .

Les piqûres blanches qui sont présent dans les pâtes due au manque de vide pendant la fabrication des pates (oxydation des pigments caroténoïdes) est rendue la pâte fragile et cassable.

❖ *Couleur des pâtes alimentaires :*

Tableau N° 21 : Couleur de produit fini

	Pâte 3se			Pâte 100% mais			Pâte 100% Riz			Pâte 50% Mais Et 50% Riz		
	E(1)	E(2)	moy	E(1)	E(2)	moy	E(1)	E(2)	moy	E(1)	E(2)	moy
Luminosité	94,84	96,03	95,43	85,06	84,70	84,88	95,23	95,19	95,21	86,20	86,93	86,56
Indice de brun (a*)	-4,08	-3,92	-4	-1,22	-1,25	-1,23	0,81	0,89	0,85	-1,70	-1,77	-1,73
Indice de jaune (b*)	34,35	34,07	34,21	31,98	31,63	31,80	8,08	7,81	7,94	26,06	24,45	25,25

La couleur des pâtes alimentaires à l'état cru est un paramètre très important pour attirer le client , ce qui nous permet de dire que l'indice de jaune des pates fabriqué a la 3SE (témoin) est de très belle couleur jaune puisque l'indice de jaune est moyenne de 34,21 et indice de brun très faible (-4,00) .

Tandis que les pâtes fabriquées aux mais ont un indice de jaune moyen de (31,8) et indice de brun et très faibles (-1,23) en remarque que la couleur de ces pâtes S'est dégradée légèrement par rapport au témoin.

La couleur des pâtes produites par le mélange est de indice de jaune (25 ,25) et indice de brun (-1,73) on déduit que ce pâtes sont de couleur jaune claire.

Par contre le cas des pâtes a base de Riz l'indice de jaune est très faible (7 ,94) et l'indice de brun (0,85) ce qui a donné par conséquent une couleur grise claire de la pâte.(voir tableau n°21).

IV-2 .2 La teneur en eau :

Tableau N°22 : teneur en eau des pâtes alimentaires :

	Pâte 3se			Pâte 100% maïs			Pâte 100% Riz			Pâte 50%Maïs et 50% Riz		
	E(1)	E(2)	moy	E(1)	E(2)	moy	E(1)	E(2)	moy	E(1)	E(2)	moy
% humidité pré séchoir	16,62	17,3	16,96	16,10	15,98	14,04	17,32	17,80	17,56	16,46	15,02	17,74
% humidité produit fini	11,26	12,44	11,85	8,9	9,98	9,44	10,61	10,03	10,32	11	11,26	11,13

La teneur en eau des pâtes à la fin de phase pré séchoir varié entre (15,74 % et 17,57 % et conforme à la norme d'entreprise SIM-AGRO qui ne dépasse pas le 17,50 %.

L'humidité des pâtes à la fin de séchoir pour le cas des pâtes fabriquées à partir de 3SE et de (11,85 %) est conforme à la norme (maximum 12,5 %).

Tandis que l'humidité de pâte fabriquée à partir de semoule de maïs à un teneur en eau (9,44 %) moindre que celui de 3SE et l'humidité des fabriquées à partir de semoule de Riz (10,32 %) (**voir tableau n°22**) moindre que la celui de semoule 3SE .

Note : Malheureusement la période où on a fait les essais, la ligne de fabrication des pâtes spéciales (lazagne) était en état d'arrêt de production ,on A voulu travailler avec des chambres de séchage pleine pour garantir que les paramètres de séchage (humidité relative et la température et le temps) suffisante pour obtenir des pâtes séchées au milieu homogène pour éviter les défauts de séchage .

Dans notre cas puisque la chambre de séchage est vide (seulement nos échantillons) l'humidité de la chambre est relativement faible, ce qui rend les pâtes de Maïs et de Riz très sèches (humidité inférieure) et fragiles.

IV-2-3 .Qualité culinaire des pâtes alimentaires (spaghettis) :

La cuisson d'une pâte alimentaire vise à gélatiniser l'amidon pour le rendre digestible.

Elle regroupe l'ensemble des caractéristiques suivantes:

- Temps optimale et maximale.
- Gonflement des pâtes.
- Aromes et le Goût.

Tableau N° 23 : Résultat de la cuisson des pâtes

Essai	Pâtes 100% 3SE	Pâtes 100% Mais	Pâtes 50% Mais + 50 % Riz	Pâtes 100 % Riz
Temps optimal de cuisson TOC	12 mn	3mn et 40 sec	4mn et 54 sec	6mn et 22 sec
Temps sur cuisson	15 mn	5mn et 53 sec	6mn et 30sec	8mn et 30sec
Observation à la cuisson	- Eau limpide - Surface lisse de type - Pâtes non collantes - Odeur fraîche - Une bonne fermeté.	Pâtes collantes type De couleur jaune fonce , eau laiteuse jeune	Pâtes collantes type De couleur jaune fonce , eau laiteuse	À tresmoincollantes de types de couleur grise. Eau moinléteuse

Résultats et discussion

❖ Temps optimal de cuisson et sur cuisson :

Lors de l'écrasement des pâtes entre deux plaques en verre dans les deux premières minutes qui suivent la cuisson, on observe une ligne blanche épaisse qui disparaît après chaque minute de plus jusqu'à la disparition totale de cette dernière. a ce moment là, ce temps correspond au temps optimal de cuisson (voir tableau n°23) qui se traduit par une gélatinisation de l'amidon.

- **Remarque** : On remarque que le temps optimal de cuisson et les temps sur cuisson est largement inférieur a celui des pâtes fabriquées a partir de semoule 3SE parce que les pâtes sans gluten fabriquées a partir de Maïs, Riz et ainsi de mélange sont déjà pré cuites pendant la fabrication

❖ Indice de gonflement :

Le Gonflement ou absorption de l'eau pendant la cuisson est lié aux granules d'amidon qui ont tendance a absorbé l'eau lors de l'exposition a la chaleur et a l'humidité.

On remarque que l'indice de gonflement (IG) pour l'échantillon préparé à base de la semoule 100% Mais est proche à celui des pâtes préparées à partir de semoule 3SE, tandis qu'il augmente dans les essais des pâtes produites à partir de (50% Mais +50% Riz) et aussi pour les essais 100% Riz.

Donc, le gonflement nous renseigne sur la capacité d'absorption d'eau des pâtes cuites. Il est déterminé par la différence de poids entre la pâte avant et après la cuisson. Singh *et al.* (2006) ont montré que la force de gonflement indique la capacité de l'amidon à s'hydrater sous des conditions spécifiques (temps/température). (voir **Tableau N°: 24**)

Tableau N° 24 : Le gonflement des pâtes cuites.

Les essais	Poids pâtes sèche	Poids pâtes cuits	Gonflement
Pâtes 100% 3SE	100g	258 g	1,58
Pâtes 100% Mais	100g	242g	1,42
Pâtes: 50%Mais +50%Riz	100g	286g	1,86
Pâtes 100% Ris	100g	323g	2,23

❖ **Goût et arôme :**

Les pâtes à la 3SE ont un bon goût et odeur fraîche de blé.

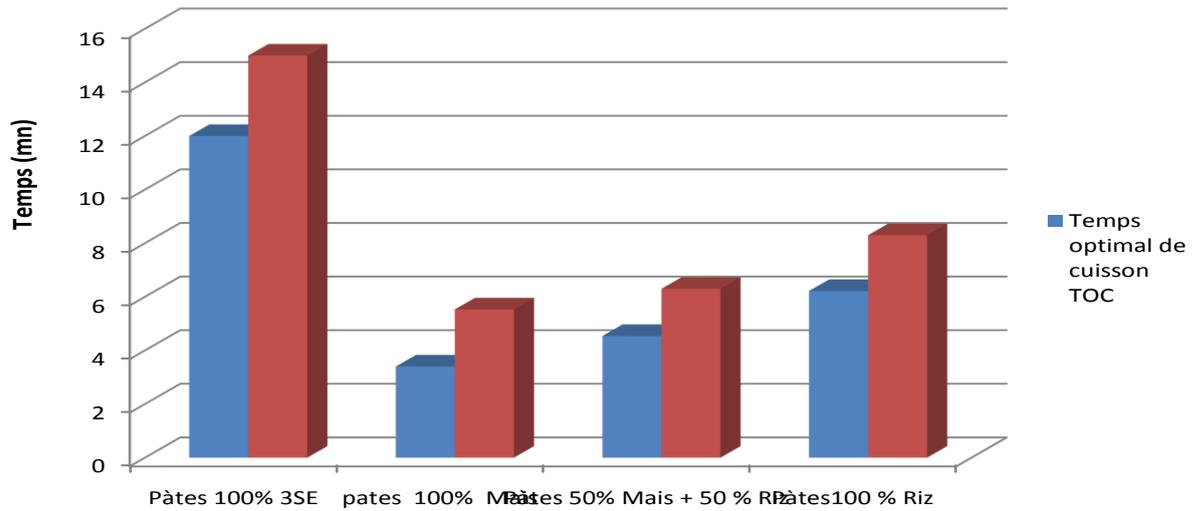
Les pâtes au Riz ont le goût et l'odeur de Riz.

Les pâtes au maïs ont le goût désagréable (amer) et l'arôme de celui de Maïs.

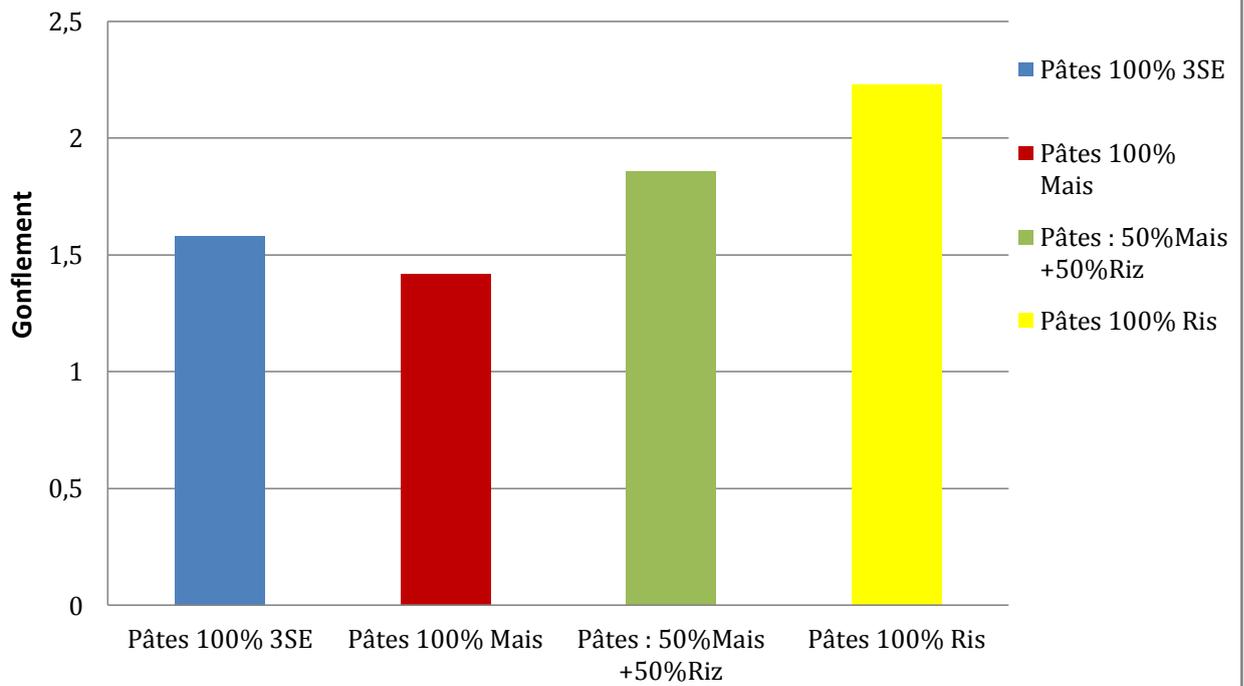
Le goût de Maïs amélioré au fur à mesure qu'on a ajouté le Riz comme notre cas de nous pâtes de mélange (50 % de Maïs et 50% de Riz).

(**Voir** tableau n°24)

Histogramme n°: 11 Temps de Cuisson



Histogramme N°: 12 Gonflement



Conclusion :

Notre travail avait pour objectif principale de contribuer à la diversification de l'alimentation d'une population cœliaque algérienne et de tester la fabrication de pâtes alimentaires sans gluten à partir d'une formulation à base de Maïs et de Riz

Trois formules ont été étudiés : 100% Maïs ,100% Riz et mélange 50% Maïs et 50% Riz.

Malheureusement là, nos disponibilités des matières premières (Maïs et Riz) par des quantités suffisantes nous a obligé de suivre des étapes de fabrication des pâtes selon un diagramme traditionnel ce qui influence sur la qualité du produits finis ainsi que le manque de vide qui a conduit a l'oxydation des pigments caroténoïdes ce qui a donne des pâtes fragiles et sensibles à la cassure .

En s'appuyant sur les résultats des paramètres physico-chimiques et technologiques des matières premières on relève que l'utilisation de chaque variété de semoule a un impact direct sur la couleur de pâtes produit.

Le manque de pression d'extrusion au moment d'extrusion des pâtes à travers le moule et la position de tête de moule a un impact direct sur la de formation de la pâte

Pour la deuxième partie L'étude les analyses physico-chimiques, technologiques et organoleptiques effectués sur les produits finis (spaghetti), ont confirmé les paramètres déjà cité.

Le séchage dans notre cas a été effectué dans une chambre des pâtes spéciales vide (humidité relative insuffisante) se qui a influé sur les résultats d'humidité finale

Les temps de cuisson et sur cuisson des pâtes sans gluten est plus réduit par rapport à Celui des pâtes témoin (3SE)

Les pertes à la cuisson dans l'ensemble de pâtes sans gluten est plus élevé que celui fabriqué au 3SE due a l'effet des paramètres technologiques sur les pâtes pendant la fabrication (manque de vide, mauvais séchage)

Les pâtes fabriqué a 100%Maïs et de gout proche à celui de Maïs avec un gout amer se gout s'améliore que l'ajout de la semoule de Riz (cas pâte mélange)

Le complexe « SIM-AGRO » à l'intention exclusive à travers cette étude de produire ces types de pâtes alimentaires sans gluten destinées pour les malades cœliaques localement et à l'échelle industrielle, c'est une contribution de sa part pour soulager leurs souffrances.

TABLEAUX

Pages

- Tableau 1 : Les aliments autorisés et non autorisés dans un régime sans gluten (KUPPER, 2005).....	06
- Tableau N°2 : composition moyenne du gluten	07
- Tableau N°3 : Principaux des valeurs nutritionnelles du Riz cru (SOUCI et al, 1994).....	13
- Tableau N°4 : La distribution en poids des ces principales parties au grain est reproduite.....	17
- Tableau N°5 : Composition chimique approchée des principales parties Des grains de Maïs (%).....	18
- Tableau N°6 : Composition chimique approchée des différents types de Maïs.....	19
- Tableau n°7 : Teneur en acides amines indispensables des protéines du germe et des protéines de l'albumen (%)	20
- Tableau N°8 : Teneur en acides gras des variétés de Maïs guatémaltèque	21
- Tableau N°9 : Fibres alimentaires solubles et insolubles du Maïs.....	21
- Tableau N°10 : Teneur du Maïs en matière minérales (moyenne de 0 échantillons).....	22
- Tableau N°11 : Compare la valeur nutritionnelle des protéines du Maïs avec la qualité protéique de huit autre céréales	25
- Tableau N°12 : La composition physico-chimique de gritz du Maïs	26
- Tableau N°13 : principaux producteurs.....	29
- Tableau N°14 : Classification botanique du blé dur ((Feillet, 2000).....	30
- Tableau N°15 : Composition chimique du grain de blé (% M.S)(Feillet,2000).33	
- Tableau N°16 La quantité d'eau ajoutée	68
- Tableau N°17 : Le temps de cuisson de chaque essai montré selon.....	68
- Tableau N°18 : Résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur la semoule	75
- Tableau N° 19 : les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau	83
- Tableau N°20 : caractéristiques qui déterminent l'aspect des pâtes alimentaires	84
- Tableau N° 21 : couleur de produit fini.....	85
- Tableau N° 22 : teneur en eau des pâtes alimentaires	86
- Tableau N° 23 : Résultat de la cuisson des pâtes.....	87
- Tableau N° 24 : Le gonflement des pâtes cuites.....	88

FIGURES

Pages

Figure 1 : Pathogenèse de la maladie cœliaque	03
Figure (2) : Le modèle de l'iceberg proposé pour la maladie cœliaque	04
Figure (3) : Structure du grain de Riz.(Gruz,1999)	10
Figure (4) : Usinage de Riz (GRUZ ,2005)	11
Figure N°5 : Coupe longitudinale et transversale d'un grain de blé dur (FEILLET, 2000)	32
Fig. N°6 : broyeur à marteau	47
Figure N°07 : préparation les différents échantillons des semoules	49
Figure N°(08) : Matériel utilisé pour déterminer la couleur de matière première.....	60
Figure N°(09) Illustration des étapes de la méthode de mesure de gluten	61
Figure N° (10) : Préparation d'eau salée (Photos prise par Boumzaout).....	62
Figure (11) : Analyse de gluten de la matière première (Photos prise par Mechri).....	63.
Figure N° (12) : Schéma pour la fabrication des pâtes sans gluten à l'échelle de laboratoire.....	67.
Figure N° (13) : Les étapes de cuisson des produits finis	69
Figure N° (14) : Broyage de la pâte sèche.....	71
Figure N° (15) : Détermination de la dimension de la pâte sèche.....	71
Figure N° (16) : Broyage de la pâte sèche	72
Figure N° (17) : test de cuisson	74

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (DENERY PAPINI Et al , 2001 ; MATUCHANSKY et al , 2004)
- (HEKENS, 1993 ; MATUCHANSKY, 2004) .
- (ANCELLIN et al. 2004) .
- -(BENATALLAH et al . 2004)
- -(THOMPOSON, 2008).
- -(LAMIREAU et CLOUZEAU, 2013).
- -(CLOT et al, 2001), (MOUTERDE et al. 2008).
- -(CATASSI et FASANO, 2008 ; ROSTAMI et VILLANACCI, 2009).
- -(NAIJYANA et al, 2012)
- -(JADOUL, 2003).
- -(MARY et NIEWINSKY, 2008).
- -(GEORGIA MALAMUTE et al ,2015).
- -(ROSTOM A et al ,2006) (CELLIER,2001).
- -(DONALD et al, 2000).
- -(site: algérie - maladie cœliaque, Mercredi 21 juin 2017)
- -(WINGREN CJ et al, 2012).
- -(MALAMUTE, 2012).
- - PWELL ,2008 ; SCHMITZ et GARNIER-LENGLINE, 2008)
- -(FERGUSON et al, 1993) (WEST et al, 2007) (Gruz, 1999).
- -(BOWER et al. 2007)
- -(j.patbio, 2011)
- -(AKOBENG et THOMAS ,2008).
- -(CEGARRA, 2006).
- -(JACQUELINE et al, 2019). (KUPPER, 2005)
- -(DACOSTA, 1986).
- -(KSARDA et al, 1971) cité par POPINEAU et al, 1991)
- -(COYEN et MASTER, 2017).
- -(BIENVENIDO, 1994).
- -(Codex Alimentarius, 1995)
- -(JULIAONO 1994 ; LE GOFF 1997)
- -(GRUZ, 2005) (Gruz, 1999).

- -(MOHTADJI- LAMBALLAIS, 1989 ; ALARY et LAIGNELET, 199;).
- -(FAVIER ,1989 ; FAO ,1990. ALARY ET LAIGNELET, 1998).
- -(LAUREYS et GEEROMS, 2002).
- -(OSZVALD et aL., 2008). (KAMATSU ET HIRANO ,1992).
- - MOHTADJI-LAMBALLAIS, 1989
- -(SOUCI et al, 1994)
- -(BERNARD et RENE, 1983).
- -(JULIANO, 1985)
- -(Encyclopédie ®. Microsoft R. Encarta. 98 © -1993-1997)
- - Landry et Mourreaux 1980.site : compose de Maïs
- -(P. Rampal, C.CADOT 1990 la maladie cœliaque et le régime sangluten Gastro- enterol. Clin biol. Masson paris.).
- - Bressani, Breuner et Ortiz 1989.
- -(christianson et al, 1968)
- -(Gopolan et Rao, 1975 ; Patterson et al, 1980).
- -(Rooney et Serna-Saldivar 1987). (Oke 1967) (Hesseltine, 1979), (Instituts de Investigaciones Technologie 1972).
- -(Mou-et al, 1974 a) [Pierres et coolers Méthode de fabrication, définition, composition collection sciences and techniques].
- -[Collection FAO, Alimentation et nutrition organisation des nation unies pour l'alimentation agriculture Rome 1993 le maïs de la nutrition humaine.
- - Guy Rouanet. 1984 le maïs Edition G.P Maisonneuve Larose et A.cc.T
- -(Soltner, 1998) ((Feillet, 2000)
- -(Jeantet et al ,2007 ; Franconie, 2010).
- -(Fourar, 2011).
- -(Wagner et al., 2015), (Torres et al., 2007). (Agama et al., 2009).
- -(Ugrinovits et al., 2004). (Brennan et Tudorica, 2007).
- - (Turnbull, 2001 ; Duranti, 2006) (Abecassis, 1991).
- - IcardVerniere, 1999) (Mastuo et al., 1978).
- - Kim et al., 2008). (Zaradetto et al., 2005).
- -(Güler et al., 2002) (Wrigley et al., 2006). (Sissons, 2008). (Chung, 1986).
- -(Wehrli et Pomeranz, 1970) (Trentesaux, 1995).
- -(Photos prise par Mechri).
- -Norme de la qualité de l'eau potable du journal officiel n° 51 – 2000.
- - Norme algérienne du journal officiel n°2 du 10/08/1998.