

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Blida I



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Agro-alimentaire

Mémoire de fin d'études en vue d'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Agro-alimentaire et Contrôle de Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

**Caractérisation physico-chimique et sensorielle de
couscous de maïs**

Présenté par :

Sibachir khawla

Tergou Zahia

Devant le jury :

Mme Rebzani.F	MAA	Université De Blida 1	Présidente
Mme Hadjaj.N	MCB	Université De Blida 1	Examinatrice
Mme Benlemmane. S	MCB	Université De Blida 1	promotrice

Année Universitaire 2019-2020

Remerciements

Nos remerciements s'adressent d'abord à **ALLAH** le tout puissant pour les chances qui nous ont offertes, pour la force, le courage, la santé, la volonté, et la patience pour réaliser ce modeste travail.

Avant de commencer la présentation de ce travail, on profite de cette occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

On tient à exprimer également notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre promotrice **Dr Benlemmane. S** pour tout le temps qu'il a consacré, ses directives précieuses, ses conseils et encouragements pour une meilleure rédaction de notre mémoire.

On tient à remercier l'équipe de l'entreprise « **SOSEMIE** » pour son accueil et son aide.

Nos respects aux présidents et membres de jury qui nous font l'honneur d'accepter et de juger notre travail.

On tient aussi à remercier nos parents pour leurs soutiens inconditionnels ainsi pour le soutien moral psychologique.

Dédicace

Merci ALLAH...

Je dédie ce travail

Aux êtres les plus chers : Mes parents,

A mon père,

*Mon plus haut exemple et mon modèle de persévérance pour aller
toujours de l'avant et ne jamais baisser les bras.*

*J'espère que ce travail sera à la hauteur de tes attentes et qu'il soit
l'accomplissement de tous tes efforts.*

A ma mère,

*Pour son affection, sa patience, sa compréhension, sa
Disponibilité, son écoute permanente et son soutien sans égal
dans Les moments les plus difficiles de ma vie.*

*Là où je suis arrivée aujourd'hui c'est à vous MES CHÈRES
PARENTS que je le dois, que Dieu vous garde.*

*Je dédie ce travail à mon chère petits frères **Abd elnour***

*A mon frère : **Mohamed** je vous dédie ce travail avec tous mes souhaits
de bonheur et réussite*

*A mes chères: **Asma M, Asma B, Sabrina, Alia, Yasmine, Bouchra**, je
ne peux trouver les mots justes pour vous exprimer toute mon
affection. Vous êtes pour moi, plus que des amies, des sœurs sur qui je
peu compter.*

*Je remercie aussi mon binôme et mon amie **Zahia**, pour ces efforts et sa
patience pour réalisé ce travail
Merci d'être toujours là pour moi.*

Khawla

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail tous d'abord:

*A ma mère, qui m'a soutenu dans tous les domaines de la vie,
particulièrement mes études.*

A mon père, pour ses sacrifices et ses encouragements.

*A mes chers frères « Kheir-Eddine » et « Abd el Malek », A ma chère
sœur « Souad ».*

A ma nièce Hanine.

A mes chers amis et toute la famille « TERGOU ».

*Une ultime reconnaissance va à « khawla » mon cher binôme qui a su
m'accompagner avec une patience et un soutien sans faille.*

Zahia

Résumé

En Algérie, les malades cœliaques souffrent d'un manque de produit alimentaire ne contenant pas de gluten L'objectif de notre étude est la préparation d'un couscous artisanal destiné à cette catégorie de malades à base de maïs qui est une céréale exempte de gluten et réputée sa richesse en nutriments, en minéraux ainsi que pour sa digestibilité et ses vertus pour la santé.

La qualité culinaire du couscous de maïs a été comparable à celle du témoin, le gonflement du couscous sans gluten semble proche de celui du témoin. Les analyses sensorielles ont montré que la couleur du couscous de maïs est plus jaune que celle du témoin. Selon la majorité des dégustateurs le couscous de maïs présente une odeur et un gout variant de bon à très bon comme c'est le cas pour le couscous témoin, cependant la texture du couscous de maïs a été jugé plus rugueuse par la majorité des dégustateur par rapport au couscous témoin.

Mots clés : Couscous, Maïs, Gluten, Malade cœliaque.

Abstract

In Algeria, celiac patients suffer from a lack of gluten-free food products. The objective of our study is to prepare a home-made couscous for this category of patients based on maize, a gluten-free cereal that is reputed to be rich in nutrients, minerals, digestibility and health benefits.

The culinary quality of maize couscous was comparable to that of the control; the swelling of gluten-free couscous appears to be close to that of the control. Sensory analysis showed that the color of maize couscous is more yellow than that of the control. According to the majority of the juries the corn couscous had a good to very good smell and taste as the control couscous; however the texture of the corn couscous was judged to be rougher by the majority of the juries compared to the control couscous.

Key words: Couscous, Corn, Gluten, Celiac disease.

ملخص

يعاني مرضى الداء البطني في الجزائر من نقص في المنتجات الغذائية الخالية من الغلوتين. الهدف من دراستنا هو إعداد الكسكس بالعناصر الغذائية والمعادن . محلي الصنع لهذه الفئة من المرضى على أساس الذرة ،وهي حبوب خالية من الغلوتين تشتهر بأنها غنية و الهضم و فوائدها الصحية

قريب من عنصر كانت جودة طهي كسكس الذرة مماثلة لتلك الموجودة في عنصر التحكم ،ويبدو أن تورم الكسكس الخالي من الغلوتين التحكم. أظهر التحليل الحسي أن لون كسكس الذرة أصفر أكثر من لون عنصر التحكم وفقاً لغالبية هيئة المحلفين فان كسكس الذرة له رائحة وطعم يختلف من جيد إلى جيد جداً مثلاً كسكس الشاهد و مع ذلك فقد تم اعتبار نسيج كسكس الذرة أكثر خشونة من قبل غالبية هيئة المحلفين مقارنة مع كسكس الشاهد

الكلمات المفتاحية: الكسكس،الذرة،الغلوتين،الداء البطني.

Liste des figures:

Figure 1: la production et consommation de blé dur dans le monde (moyenne mobile quinquennale).....	5
Figure 02 : Structure d'un grain de blé dur.....	8
Figure 03 : Produit accepté (à gauche) et rejeté (à droite) par une trieuse couleur.....	11
Figure 04 : Broyeur à cylindres.....	13
Figure 05: Passage d'un grain de blé sur le premier broyeur.....	13
Figure 06: Plansichter	14
Figure 07: Sasseurs... ..	14
Figure 08 : Diagramme simplifié de la mouture de blé dur... ..	16
Figure 09 : Classification des protéines du blé.....	19
Figure 10 : Le bilan mondial de production du	26
Figure 11: Répartition mondiale de la production de maïs grain (MT) en 2008	26
Figure 12: Anatomie du maïs	29
Figure 13 : Les inflorescences du maïs... ..	31
Figure14: Coupe du fruit du maïs... ..	31
Figure15 : coupe longitudinale du grain de maïs	32
Figure 16 : Coupe longitudinale de grain de maïs	34
Figure 17: Diagramme de la production industrielle du couscous... ..	45
Figure 18: Exemples des courbes de distribution de dimension particulaire pour le couscous industriel moyen et le couscous artisanal	50
Figure 19 : Micrographes électroniques de balayage (12x) A des grains du couscous artisanal et (B) des grains du couscous industriel (barre =830µm)... ..	51

Figure 20 : diagramme de cuisson traditionnelle de couscous.....	52
Figure 21: Images de gasaa en bois (A et B) et un tamis (C) appelé Gherbal en arabe et Agherval en langues berbères... ..	53
Figure 22 : Exemples De Couscoussier, Cuiseurs Vapeur Traditionnels Pour La Préparation De Couscous, Fabriqués En Céramique (A et B) ou en métal (aluminium) (C)... ..	53
Figure 23: Photographies de plats de couscous montrant les différents types de viande et de produits ethniques à base de viande	54
Figure 24 : Photographies de mesfouf préparées avec (A) féverole et pois ou (B) avec des fruits tels que des raisins secs et des dattes.....	55
Figure 25: Matériel de fabrication artisanale de couscous.....	59
Figure 26 : 100g de couscous maïs (A) et de couscous de blé dur (B)... ..	62
Figure 28 : évaporation du couscous.....	63
Figure 29 : Présentation des échantillons on couscous maïs (A) et de couscous de blé dur (B) pour la dégustation	64
Figure 30 : la fiche de dégustation	65

Liste des tableaux

Tableau 01 : Production moyenne des principaux pays producteurs de blé dur (2013-2015) Un quart de la production mondiale est le fait de deux pays	6
Tableau 02 : le rendement de blé dur en Algérie en fonction de la superficie emblavée de 2011 jusqu'à 2016... ..	7
Tableau 03 : Composition biochimique du blé dur	9
Tableau 04: composition biochimique pour 100g de semoule... ..	17
Tableau 05 : Les différentes prolamines	20
Tableau 06: Alimentation des maladies celiacques algériens.....	22
Tableau 07: Composition chimique approchée des principales parties des grains de maïs (en pourcentage)... ..	35
Tableau 08 : la composition de semoule de maïs sec	37
Tableau 09 : Capacité de production de couscous industriel installée dans certains pays... ..	44
Tableau 10: test de cuisson des couscous... ..	67
Tableau 11 : Odeur de couscous... ..	68
Tableau 12: Goût de couscous... ..	68
Tableau 13 : Couleur des couscous.....	69
Tableau 14 : Texture des couscous... ..	69
Tableau 15: Aspect du couscous.....	70

Liste des abréviations

CIC : Conseil International des Céréales

UE : Union Européenne

ITGC : Institut technique des grandes cultures

PNNS : programme national nutrition santé

DMO : digestibilité de la matière organique

MC : La maladie coeliaque

FAO : Food and Agriculture Organization

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.

GS : gluten sec

CSG : couscous sans gluten

CT : couscous témoin

Sommaire

Introduction...	1
-----------------	---

Première partie : partie bibliographique

Chapitre I : généralité sur le blé dur et le maïs

I. Le Blé dur...	4
1. Généralités sur le blé	4
2. Importance du blé dur	4
2.1. Dans le monde...	4
2.2. En Algérie...	6
3. Aspect botanique...	7
4. Structure et composition biochimique du grain du blé dur...	8
5. Valeur semoulière des blés durs...	9
6. Procédé de première transformation du blé dur	10
6.1. Le nettoyage	10
6.1.1. La séparation dimensionnelle ou densimétrique	10
6.1.2. Le magnétisme	11
6.1.3. Le triage	11
6.1.3. Brossage	11
6.2. Le conditionnement	12
6.3. La mouture	12
6.3.1. Les principales opérations de mouture de blé dur	12
7. Les produits de la mouture de blé dur	15
7.1. La semoule de blé dur	16
8. Le blé dur et la maladie cœliaque	18
8.1. Le gluten	18
8.2.1. Les différentes prolamines selon leur origine	19
8.3. La maladie coeliaque en Algérie	20
8.3.1. Alimentation des maladies coeliaques algériens...	21
8.4. Les causes de la maladie cœliaque	23
8.5. Régime sans gluten et équilibre alimentaire	23
8.5.1. Produit sans gluten	23

8.5.2. Le régime.....	24
II. Le maïs... ..	25
1. Généralités sur le maïs... ..	25
2. Importance du maïs... ..	25
2.1. Dans le monde... ..	25
2.2. En Algérie... ..	27
3. Place actuelle du maïs dans l'alimentation humaine.....	28
4. Aspect botanique... ..	28
4.1. Taxonomie.....	28
4.2. Anatomie du maïs.....	29
5. Structure et composition... ..	33
6. Propriétés nutritionnelles du maïs grain... ..	35
7. procédé de première transformation de maïs en semoule	36
7. 1. Semoule de maïs.....	37

Chapitre II: le couscous et ses aspects

1. Généralités.....	40
2. Les matières Premières.....	40
2.1. Lasemoule	40
3. l'eau de procès... ..	42
3.1. Paramètre physico-chimique... ..	42
3.2. Paramètres microbiologiques... ..	43
4. Procédé de fabrication du couscous... ..	43
4.1. Procédé industriel de fabrication du couscous	44
4.2. Procédé artisanal de fabrication du couscous.....	46
4.3. Principe de production de couscous	46
5. Qualité du couscous... ..	48
5.1Qualité nutritionnelle.....	48
5.2. Qualité hygiénique	48
5.3. Qualité organoleptique	48
5.3.1. Couleur du couscous... ..	48

5.3.2. Granulométrie des particules.....	49
5.3.3. Forme des particules.....	50
5.4.1. Le temps de cuisson... ..	51
6 Le couscous en Algérie	52

Deuxième partie : Partie Expérimentale

Chapitre III : Matériel et méthodes

1. objectif de l'expérimentation... ..	58
2. Fabrication du couscous artisanal... ..	58
2.1. Matériel de fabrication... ..	58
2.1.1. Matière première	58
2.1.2. Ingrédients.....	58
2.2. Matériel utilisé.....	58
3. Les étapes de fabrication de couscous artisanal de maïs.....	59
4. Les étapes de fabrication de couscous artisanal de blé dur	61
5. Test de cuisson	62
6. Test de dégustation.....	63

Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Test de cuisson... ..	67
2 .Test de dégustation... ..	67
Conclusion.....	74

Les Références bibliographiques

Annexe

Introduction

La maladie cœliaque est une maladie inflammatoire du tube digestif survenant sur un terrain génétique particulier. C'est une entéropathie déclenchée par l'ingestion de gluten de blé et de protéines apparentées chez des sujets génétiquement prédisposés. Elle se traduit par une atrophie villositaire intestinale responsable d'un syndrome de malabsorption retentissant souvent sur la croissance. Son traitement demeure exclusivement diététique, le régime sans gluten, qui assure dans la majorité des cas, la guérison clinique et la prévention des complications (**Chretien, 2011**).

Actuellement, la maladie cœliaque est considérée comme l'une des affections gastro-intestinales les plus fréquentes dans le monde. En Algérie, peu de données sont disponibles sur la fréquence de cette maladie. Elle reste, cependant, dangereuse, à cause de ses complications dues surtout à l'inobservance du régime alimentaire, très contraignante (**Namous, 2013**).

C'est la seule situation clinique en gastro-entérologie dont le traitement repose sur une prescription diététique simple dans son principe, le régime sans gluten, mais difficile à mettre en œuvre compte tenu des contraintes sociales qu'il impose. Un soutien médical, mais surtout diététique, par du personnel formé et sensibilisé à ce problème est indispensable (**Garnier-Lengline et al., 2013 ; Chretien, 2011**).

L'éviction du gluten pour les patients souffrant de maladie cœliaque repose sur la consommation de substituts des céréales à gluten. La liste de ces substituts comprend le maïs et les produits alimentaires à base de maïs. Le maïs et les produits à base de maïs peuvent être consommés sans danger par les patients souffrant de maladie cœliaque. Le maïs est bien une céréale « sans gluten » (**Barre et al., 2017**).

Le but de notre étude est de mettre en place un nouveau produit très riche et bénéfique pour la santé humaine et au même temps sans gluten destiné aux malades cœliaques, en élaborant un couscous de maïs. Ainsi, notre thème se propose de répondre aux besoins d'une diversification de l'alimentation sans gluten pour les malades cœliaques.

Première partie :
partie
bibliographique

Chapitre I :
Généralités sur
Le blé dur et le
maïs

Chapitre I : généralité sur le blé dur et le maïs

I. Le Blé dur

1. Généralités sur le blé

Le blé dur est une catégorie de blé cultivée dans les pays de climat chaud et sec. Les grains de blé dur sont allongés, souvent même pointus, les enveloppes sont assez minces et légèrement translucides.

Premier croisement accidentel, survenu, il y a 10 000 ans, entre un blé sauvage (*Triticummonococcum*) et une herbe sauvage (*Aegilops spletoides*), a donné naissance à un blé dur (*Triticumturgidum*L). Les agriculteurs de l'Abyssinie (aujourd'hui l'Ethiopie) cultivaient deux espèces de blé (*Triticummonococcum* et *triticumtauschii*). Les différentes sortes de blé auraient été ainsi transportées par l'homme dans cette région. **(Brink et Belay,2006).**

Au niveau diététique le blé dur est la plus équilibrée des céréales et la plus riche en protéines. Il renferme les acides aminés essentiels comme la lysine, il est nourrissant et fortifiant. Cette céréale présente un bon équilibre minéral. Sur le plan génétique le blé dur est une espèce tétraploïde, il possède 14 paires de chromosomes regroupées sur les génomes A et B, alors que le blé tendre est une espèce hexaploïde possédant 21 paires de chromosomes et associant le génome D aux deux génomes déjà présents dans le blé dur **(Salmi et Merbah, 2015).**

2. Importance du blé dur

2.1. Dans le monde

Depuis une dizaine d'années la production mondiale de blé dur oscille entre 35 et 41 millions de tonnes (Mt). Cela en fait la sixième céréale produite dans le monde. Le blé dur, essentiellement destiné à la fabrication des pâtes alimentaires et du couscous, est une matière première peu substituable dont la production en 2014-2015 était inférieure à la consommation de 2,8 Mt selon le **CIC (Conseil international des céréales) (Figure1).**

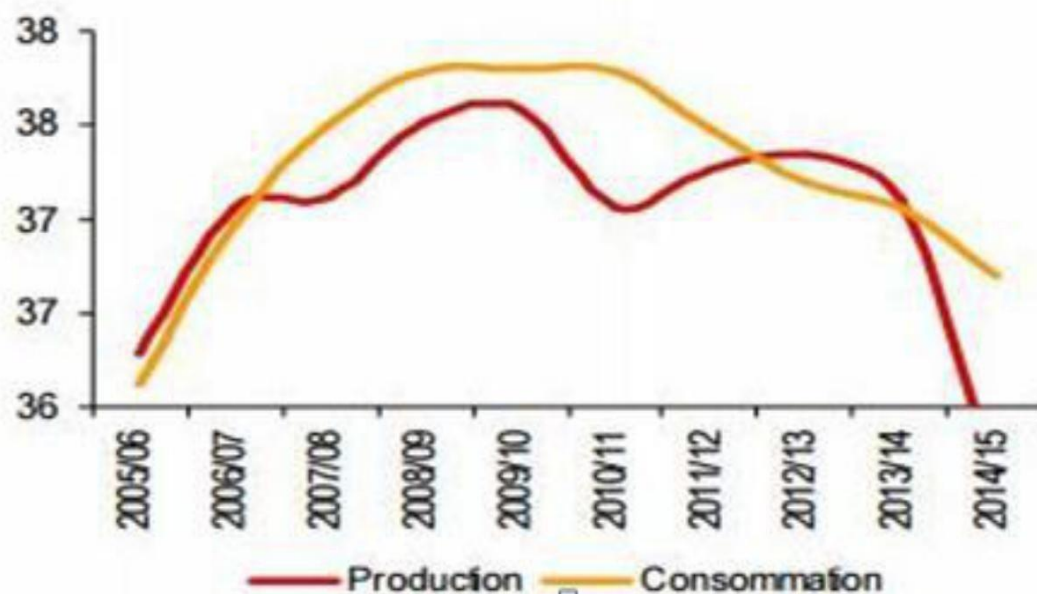


Figure 1: la production et consommation de blé dur dans le monde (moyenne mobile quinquennale) (CIC, 2015).

Six pays produisent plus de 50 % du blé dur mondial mais deux, le Canada et l'Italie, en réalisent 25 %. Du fait de cette domination du marché, le moindre événement concernant la production dans ces pays a des répercussions sur les prix. La grande majorité des pays producteurs font partie de l'hémisphère nord (hormis l'Australie). Les récoltes sont échelonnées de mai (pour le Mexique et le Maghreb) à octobre (pour le Canada), ce qui impacte l'approvisionnement et la fluidité du marché (**Tableau01**).

Chapitre I : généralités sur le blé dur et le maïs

Tableau 01 : Production moyenne des principaux pays producteurs de blé dur (2013-2015).
Un quart de la production mondiale est le fait de deux pays. **Stratégie Grains et France Agri Mer** (Yannick, 2017).

Principaux Pays Producteurs	Production Moyenne (En Millions De Tonnes)	Port de La Production Mondiale
Canada	5,7	15%
Italie	4	11%
Turquie	3 ,8	10%
Mexique	2,3	6%
Kazakhstan	2	5%
Algérie	2	5%
Maroc	1,9	5%
USA	1 ,8	5%
France	1,7	4,5%
Australie	0,5	1%

2.2. En Algérie

Les céréales d'hiver, en particulier le blé dur, demeurent l'aliment de base des régimes alimentaires algériens et revêtent une importance stratégique dans la nutrition humaine et l'alimentation animale, de ce fait, elles occupent une place privilégiée dans l'agriculture algérienne (**Boulai et al., 2007**). En Algérie, le blé dur est consommé sous plusieurs formes, essentiellement le couscous, les pâtes alimentaires, le pain et le Frik (**Salmi et Merbah, 2015**). Selon la FAO durant l'année 2014 l'Algérie est classée en quatrième position au niveau d'Afrique et à la dix-septième position au niveau mondial avec une production du blé de 2.4 millions de tonnes, colletée est constituée en moyenne de blé dur 58,7%. Le tableau 2 représente la superficie emblavée du blé dur (ha) et le rendement (q/ha) en Algérie de 2011 jusqu'à 2016 (**source OAIC**).

Chapitre I : généralités sur le blé dur et le maïs

Tableau 02: le rendement de blé dur en Algérie en fonction de la superficie emblavée de 2011 jusqu'à 2016 (ITGC, 2014).

Année	Superficie (ha)	Rendement (qx/ha)
2011	1230 414	17,8
2012	1342 881	17,9
2013	1180 382	19,8
2014	1182 127	15,6
2015	1314 014	15,4
2016	1901 993	17,8

3. Aspect botanique:

Embranchement: Spermaphytes

Sous-embranchement: Angiospermes

Classe: Monocotylédones

Ordre: Commélimiflorales

Sous-ordre: Poales

Famille : Graminae ou Poaceae

Genre et espèce : Triticum durum

Différentes classifications basées sur des critères morphologiques ont été proposées par de nombreux auteurs. Ce type de classification a eu le mérite d'orienter la recherche de gènes susceptibles d'intéresser le sélectionneur sur le plan des caractéristiques agronomiques tels que la résistance aux basses températures, la précocité et les grains gros et vitreux (**Amira et Fadel,2013**).

4. Structure et composition biochimique du grain du blé dur

Le grain de blé se compose de trois parties (**figure 02**) : les enveloppes, l'endosperme ou amande et le germe ou embryon.

- **Enveloppes** : C'est la pellicule cellulosique, son rôle est la protection de la graine au cours de sa formation dans l'épi et limite aussi l'entrée des moisissures et des bactéries, par contre elle permet le passage de l'air et l'eau.
- **Endosperme ou amande** : L'album en occupe presque tout l'intérieur du grain et se compose principalement de minuscules granules d'amidon, autour des quels apparaissent les filaments de protéines dont l'épaisseur est de l'ordre du μm .
- **Germe ou embryon** : Le germe est éliminé dans les semoules courantes par les techniques actuelles de mouture sur cylindres et se retrouve dans les issues (son et remoulages) (Afrem,2005).

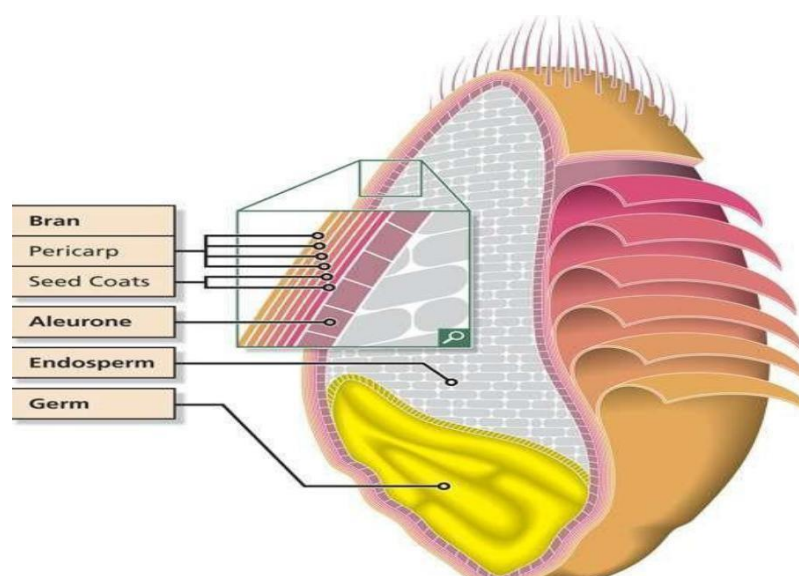


Figure 02 : Structure d'un grain de blé dur (Sissonset *al.*, 2012).

Chapitre I : généralités sur le blé dur et le maïs

Le grain de blé est constitué principalement d'amidon (environ de 70%), de protéines (10 à 15%) ; les autres constituants qui se trouvent en quantités faibles, sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (**Feillet, 2000**). Cette composition dépend de nombreux facteurs : le climat, la variété, la nature du sol, les amendements apportés et les techniques culturales (**Salmi et Merbah, 2015**). Le blé dur se distingue généralement par des teneurs en protéines et en pigments caroténoïdes élevées (**Bencharif et al., 1996**). La teneur en protéines minimales doit être 12% (**tableau 03**), dont le gluten du blé dur apportant une plus grande stabilité à la pâte et la rende particulièrement indiquée pour les produits de type pâtes (**Brink, 2006**).

Tableau 03 : Composition biochimique du blé dur (Feillet, 2000).

Composition biochimique	Teneur en éléments essentiels
Glucides	70% Amidon
Protéines	12% Gliadine et Glutenine 80 à 95%
Eau	13,5%
Lipides	2,7%
Minéraux	Potassium 340mg/100g Phosphore 45mg/100g Sodium 8mg/100g
Vitamines	Riche en Vit B, B1, B2, B3, B6, B9

5. Valeur semoulière des blés durs

La valeur semoulière peut être définie comme l'aptitude d'un blé dur à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée. Elle dépend en fait de trois facteurs:

- Les uns sont très liés aux conditions de culture et de récolte. Leur influence sur la valeur semoulière est évidente et il en est régulièrement tenu compte dans les transactions commerciales : teneur en eau que l'on souhaite la plus faible possible, taux d'impuretés qui représente la somme des produits étrangers, inertes ou nuisibles

(grains mouchetés bruns), taux et grosseur des grains cassés qu'il est parfois difficile de séparer d'autres impuretés au cours du nettoyage.

- Le deuxième groupe de facteurs englobe des caractéristiques qui dépendent davantage de la nature du blé lui-même (variétés). Ce sont ces paramètres qui conditionnent la valeur des blés nettoyés à leur arrivée sur le premier broyeur.
- Le dernier facteur de la valeur semoulière est essentiellement réglementaire, il s'agit de la richesse en matières minérales. En effet, compte tenu de ce que l'albumen amyloacé est beaucoup moins minéralisé que les enveloppes et la couche à aleurone, il est communément admis qu'il est possible de déterminer la pureté et le taux d'extraction des semoules en mesurant leur teneur en matière minérale : plus le taux de cendres sera faible, plus une semoule sera considérée comme pure du point de vue réglementaire (**Afrem, 2005**).

6. Procédé de première transformation du blé dur:

La première transformation du blé dur a pour objectif d'isoler l'albumen amyloacé sans contamination par les grains (enveloppe, couche à aleurone) et par le grain. (**Godon et Willm, 1998**).

6.1. Le nettoyage

Les opérations de nettoyage doivent être très efficaces beaucoup plus qu'en minoterie, car la taille des particules de semoule étant beaucoup plus élevée, les impuretés qu'elles contiendra seront également plus grosses et par conséquent plus visible dans la semoule (**Codon et Willm, 1998**). Selon (**Feillet, 2000**) et (**Doumandji et al., 2003**), le nettoyage de blé passe par les étapes suivantes:

6.1.1. La séparation dimensionnelle ou densimétrique

Cette étape a pour but d'enlever les impuretés de tailles nettement différentes. La séparation se fait par des tamis (calibreurs) munis d'un mouvement de va et vient, qui permet d'éliminer les gros et les fins déchets.

6.1.2. Le magnétisme:

Applique un champ magnétique à l'aide d'un aimant, ce qui va permettre l'attraction et l'élimination des corps de nature métallique.

6.1.3. Le triage:

L'une des plus importantes opérations au cours du nettoyage. Son but consiste à enlever les impuretés présentes dans le blé et qui présente le même diamètre que les grains de blé mais dont la longueur est différente : les graines longue (avoine) ou rondes (vesce). Les machines utilisées sont les trieurs (**Willm1998**).



Figure 03 : Produit accepté (à gauche) et rejeté (à droite) par une trieuse couleur (**Sissons et al., 2012**).

6.1.3. Brossage :

Elle permet d'enlever les poussières qui se maintiennent à l'intérieur du sillon de la graine et pour cela on utilise des brosses en position horizontale ou verticale.

6.2. Le conditionnement:

Le conditionnement du blé vise à modifier l'état physique des grains de manière à permettre la meilleure séparation possible, au cours de la mouture entre l'albumen amylicé d'une part, les enveloppes, la couche à aleurone et le germe d'autre part (**Codon et Willm,1998**).

6.3. La mouture:

La mouture, opération centrale de la transformation des blés en farines et en semoules (**Feillet 2000**), repose sur la mise en œuvre de deux opérations unitaires:

- une opération de fragmentation-dissociation des grains.
- une opération de séparation des constituants (**Feillet2000**).

6.3.1. Les principales opérations de mouture de blé dur:

Les principales opérations de mouture sont détaillées dans la partie suivante :

- **Broyage:**

La première opération de la mouture est le broyage, durant lequel les enveloppes sont détachées de l'amande. Cette étape est destinée à réduire les dimensions des grains par la mise en jeu des appareils à cylindre cannelés (énergie mécanique) (**Figure04) (Feillet, 2000)**.



Figure 04 : Broyeur à cylindres (Sissons et *al*, 2012).

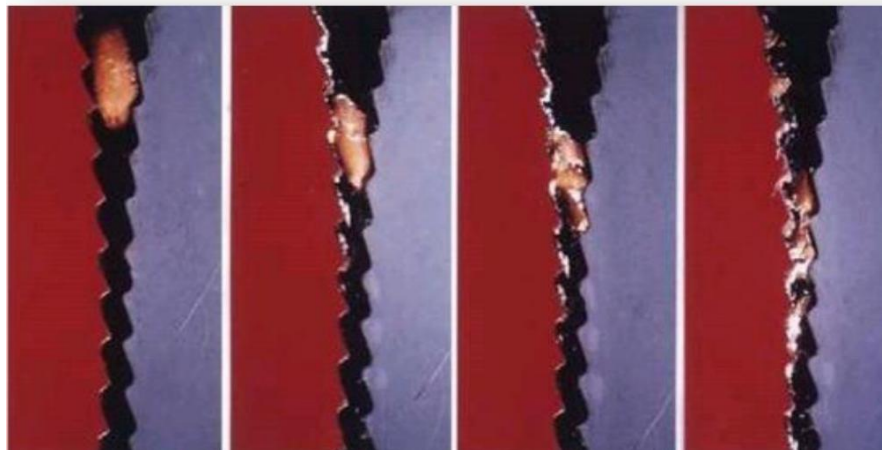


Figure 05: Passage d'un grain de blé sur le premier broyeur (Sissons et *al.*, 2012).

C'est une opération basée sur la séparation des produits selon leurs dimensions (**Feillet, 2000**). Elle est réalisée par un plansichter (**Figure 06**) et s'effectue après chaque passage dans un appareil à cylindre. Elle permet le classement des produits en différentes tailles. Le passage des éléments à travers le tamis constitue l'extraction (les semoules), par contre ce qui reste sur le tamis c'est le refus (les sons) (**Doumandji et al., 2003**).



Figure 06 : Plansichter (Sissons et al., 2012).

- **Sassage**

C'est une opération capitale intermédiaire entre les broyages (**Doumandji et al., 2003**), son but est de séparer les produits de mouture sur la base de leur taille et de leur densité (double tri) (**Feillet, 2000**). On rencontre six sasseurs en semoulerie au lieu de trois en meunerie (**Figure07**) dont la nécessité d'un classement plus rigoureux des particules vêtues et non vêtues pour minimiser la teneur en piqûres dans les semoules (**Boudreau et Menard, 1992**).



Figure 07 : Sasseurs (Sissons et al., 2012).

- **Désagrégeage:**

C'est une opération qui consiste à fractionner les semoules vêtues (**Feillet, 2000**) en éliminant les fragments de son qui adhèrent à l'amande (les semoules refusées au niveau du sasseur sont appelées semoules vêtues).

7. Les produits de la mouture de blé dur:

Les produits finis produits dans une semoule riepeuventvarier d'une région à l'autre, principalement en fonction des besoins en produits finis (**Abecassis, 1987**). A l'issue de la mouture, trois principaux produits sont obtenus:

- **La semoule** : représente le produit noble d'une semoulerie, correspond aux fragments d'amande dont la granulométrie est supérieure à 150µm (**Feillet, 2000**).
- **La semoule super sassée fine (3SF)** : La farine de blé dur (grau D) est considérée d'un point de vue réglementaire un sous-produit de mouture dont la granulométrie est inférieure à 150µm (**Abecassis, 1987**).
- **Les sons** : La finesse des enveloppes de blé dur conduit à la formation de sons beaucoup moins larges que ceux de blé tendre. Les sons sont récupérés à la fin de broyage (gros sons ou à partir des désagrégeurs et parfois des sasseurs (fin sons) (**Abecassis, 1987**).

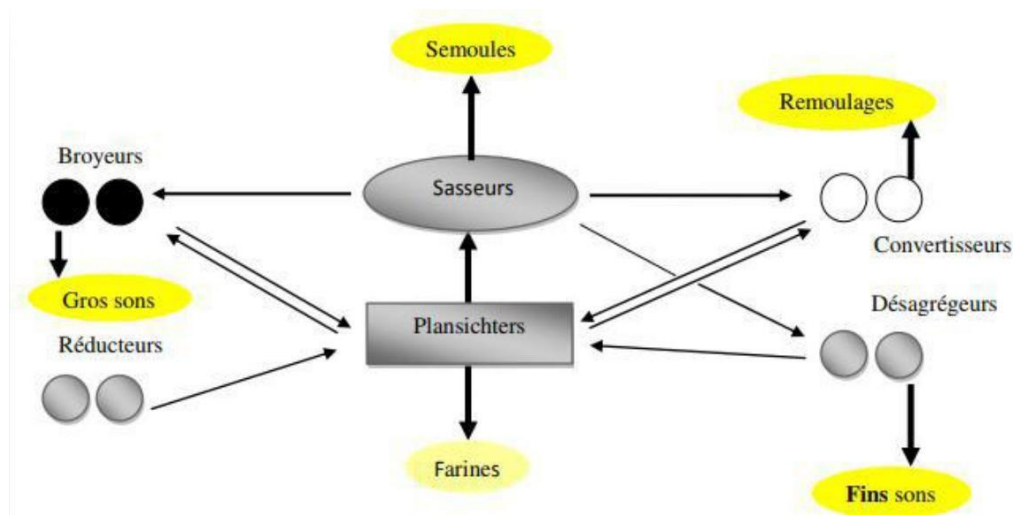


Figure 08 : Diagramme simplifié de la mouture de blé dur (Mebarka et Merbah, 2015).

7.1. La semoule de blé dur

La semoule est produite obtenu à partir de grain de blé dur par procédés de mouture ou de broyage au cours desquels le son et le germe sont essentiellement éliminés, le reste étant broyé à un degré de finesse adéquat. La semoule complète de blé dur, est préparée par procédé de broyage similaire, mais le son et une partie du germe sont préservés. (Codex Standard178-1991).

La composition biochimique des semoules est importante pour donner un produit fini de qualité dont:

- L'amidon, composant majoritaire aux propriétés rhéologiques, qui conditionnent la qualité culinaire des pâtes et leur caractère collant.
- Les protéines, en particulier les gliadines et les gluténines qui conditionnent la qualité culinaire des pâtes, en termes de viscosité et de fermeté : les gliadines hydratées apportent notamment la plasticité ; les gluténines hydratées confèrent les propriétés élastiques. Ces mêmes protéines conditionnent l'état plus ou moins collant des pâtes par la formation d'un réseau du gluten plus ou moins solide et dense, capable d'emprisonner à la cuisson les grains d'amidon qui peuvent ainsi gélatiniser et gonfler sans éclater (Afrem,2005).

Tableau04: composition biochimique pour 100g de semoule (Afrem, 2005).

Taux d'extraction (%)	70
Protéines (%)	11-13
Eau (%)	74 g
Lipides(%)	1.5-2
Sucres (%)	1-2
Amidon (%)	65-70
Matière minérale (%)	0,8-1,2

8. Le blé dur et la maladie cœliaque

La maladie cœliaque est une entéropathie chronique à lésions inflammatoires de la muqueuse de l'intestin grêle. Elle est la conséquence d'une réaction auto-immune contre le gluten alimentaire du blé, de l'orge et du seigle. Cette inflammation peut conduire à une atrophie des villosités du duodénum, entraînant une malabsorption et d'autres manifestations cliniques. Les plus courantes sont les douleurs abdominales, la diarrhée chronique, un amaigrissement, l'ostéoporose, l'anémie et l'asthénie » D'après **(Olives et Weber, 2013)**.

8.1. Le gluten :

Le gluten est la fraction alcool-soluble des protéines composant certaines céréales comme le blé, le seigle et l'orge, ou bien c'est la fraction non soluble de la farine dans l'eau, il comprend un mélange complexe de peptides : comme indique le schéma ci-dessous.

Les gliadines, de forme globulaire, et de grands polymères, de forme filamenteuse : les gluténines : Les gliadines sont les fractions solubles du gluten dans l'alcool, leur poids moléculaire varie entre 30 000 et 45 000 Daltons. Suivant leur migration électrophorétique, on distingue 4 groupes : α , β , γ et ω **(figure09)**. Les gliadines et les gluténines sont très riches en deux acides aminés, fréquemment associées dans les séquences peptidiques les plus toxiques pour les intolérants au gluten, « la glutamine et la proline ». Cette combinaison leur a valu le nom de prolamines. **(Olives, 2011)**.

Les céréales toxiques pour les intolérants au gluten sont le blé, le seigle et l'orge. L'effet délétère de l'avoine reste un sujet de controverse depuis plus de 30 ans, cependant, si elle est toxique, c'est à un degré moindre et de façon variable d'un individu à l'autre » **(Elsevier, 2010)**.

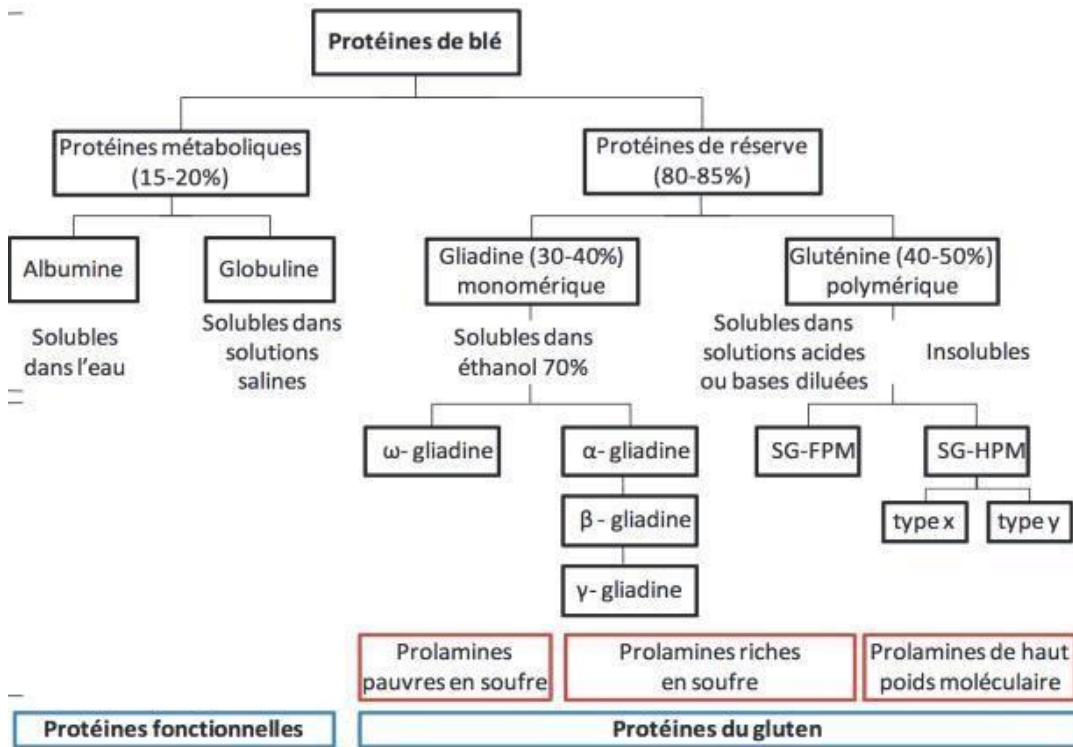


Figure 09 : Classification des protéines du blé (Shewry et *al.*, 1997).

8.2.1. Les différentes prolamines selon leur origine

Il s'agit de molécules monomériques présentant un polymorphisme génétique important, ainsi il y aura autant de prolamines que de variétés de céréales. Les différents types de prolamines sont présentés dans le (tableau05).

Tableau 05 : Les différentes prolamines (Bouquelet, 2016).

Céréale	Prolamine	Taux %
Avoine	Avénine	16
Blé	Gliadine	6
Maïs	Zéine	55
Millet	Panicine	40
Orge	Hordéine	46-52
Riz	Orzénine	5
Seigle	Sécaline	30-50
Sorgho	Kafirine	52

La description de la famille des prolamines se basera essentiellement sur celles que l'on trouve dans le blé, les gliadines. Il s'agit d'ailleurs des prolamines ayant fait l'objet du plus grand nombre d'études.

8.3. La maladie cœliaque en Algérie:

La première apparition de la MC en Algérie c'était durant la période de la colonisation française, elle était peu connue et le diagnostic rarement fait.

Ensuite la maladie s'étend de l'indépendance jusqu'à 1973 avec l'exode rural, les grands centres urbains plus favorisés en structures médicales voient affluer un grand nombre de malades. L'intolérance au gluten est souvent suspectée et reconnue progressivement, le diagnostic se base sur des critères cliniques, biologiques et sur l'épreuve du régime d'exclusion.

Enfin, en Mai 1973 le diagnostic de la MC commence avec l'introduction de la technique de la biopsie jéjunale per-orale en pédiatrie algérienne. Après 1975 la biopsie intestinale est introduite dans la plupart des hôpitaux (**Tabbakh, 1981**).

8.3.1. Alimentation des maladies coeliaques algériens

Ces aliments restent pour la plupart, difficiles à fabriquer principalement à cause de l'absence de gluten qui, d'un point de vue technologique permet la bonne tenue de la pâte et confère aux pains et aux galettes leurs légèretés et (**Benatallah et al., 2004,2008**).

Le classement des aliments que les maladies coeliaques algériens souhaiteraient voir sur le marché sont essentiellement par ordre croissant de préférence :

Pain < Couscous < Galette < Crêpes < Pizza < Bourek (**tableau 06**).

Chapitre I : généralités sur le blé dur et le maïs

Tableau 06: Alimentation des maladies coeliaque algériens et leurs désignations
(Benatallah et *al.*, 2004,2008)

Aliment	Désignation
Produit de panification	
▪ Pain en baguette ▪ Galette (riz et maïs) ▪ Pizza ▪ Pain pour hamburger ▪ Brioche	▪ NDM, DF, S ▪ EM, NDM, DF, S ▪ NDM, DF, S ▪ NDM, DF, S ▪ NDM, DF, S
gâteaux traditionnels	
▪ Makroud ▪ Braj ▪ Besboussa ▪ Divers gâteaux secs ▪ Rfiss tounsi ▪ Crêpe	▪ EM, NDM, S ▪ EM, NDM, S ▪ EM, NDM, S ▪ DF, S ▪ EM, NDM,S ▪ EM, NDM, S
Pates	
▪ Couscous ▪ Chekhchoukha ▪ Aïch ▪ Mhadjouba ▪ Pâte à bourek	▪ EM, NDM, DF, S ▪ NDM, DF, S ▪ DF, S ▪ NDM, DF, S ▪ NDM, S
Confiseries	
▪ Chocolat sans gluten ▪ Bonbons divers sans Gluten	▪ NDM, DF, S ▪ NDM, DF, S
Toute pâtisserie	▪ NDM, DF, S

Dans le tableau 6, est résumé ce qui ressort de la l'enquête comme aliment sans gluten élaborés par les ménages **(EM)**, souhaités par les maladies **(S)**, non disponible sur le marché **(NDM)** ou difficiles fabriquer.

8.4. Les causes de la maladie cœliaque

La muqueuse intestinale grêle est Normalement tapissée de petites saillies en forme de doigts appelés : Villosités villosité intestinale Ces villosités ont des terminaisons filiformes ressemblant à des poils, et dénommées : microvillosités, qui attrapent et absorbent les nutriments provenant de l'alimentation **(Arendt et al. 2008)**.

La réponse allergique à l'ingestion d'aliment renfermant du gluten engendre un processus qui cause l'aplatissement ou la disparition de ces villosités.

La déformation des villosités et l'absence de leurs terminaisons filiformes altèrent la structure de la muqueuse intestinale et entraînent des lésions.

Autrefois, cette affection se classait parmi les maladies qui se manifestaient toujours dans l'enfance, mais on sait maintenant que les personnes qui ont des facteurs prédisposant à la maladie cœliaque peuvent en être touchées à tout âge.

Chez les adultes génétiquement prédisposés qui consomment du gluten, le stress, les infections, une chirurgie ou une grossesse peuvent parfois déclencher des symptômes aigus.

Chez les enfants, les infections gastro-intestinales récurrentes peuvent jouer un rôle dans la manifestation de cette maladie **(Arendt et al., 2008)**.

8.5. Régime sans gluten et équilibre alimentaire:

8.5.1. Produit sans gluten:

D'après le codex Alimentaire de l'Organisation Mondiale de la Santé (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 de poids sec, soit 10mg de gliadine pour 100g de poids sec.
- d'un amidon préparé à partir de graines de céréales contenant moins de 0,3% de protéines dans l'extrait sec.

8.5.2. Le régime:

Pour concilier un régime sans gluten et un bon équilibre alimentaire, il est indispensable de varier l'alimentation (**Schmitz, 2007**). Un régime sans gluten sain devrait inclure une large variété d'aliments. Pour la majorité des adultes et des enfants, le régime devrait inclure 2 à 4 portions de fruits, 3 à 5 portions de légumes, 6 à 11 portions de grains sans gluten, et 3 à 4 portions de produits laitiers. Un régime contenant tous ces groupes d'aliments peut aider à fournir les nutriments nécessaires (**Bower et al., 2007**).

L'objectif du régime sans gluten chez le cœliaque est double. Il vise à corriger les anomalies cliniques, biologiques et histologiques de la maladie et à diminuer le risque à long terme d'ostéopénie et des complications néoplasiques, notamment le lymphome malin de l'intestin grêle (**Matuchansky et al., 2004**).

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.

En théorie le régime sans gluten paraît simple, mais en pratique son application est contraignante et constitue un véritable défi pour les malades. En effet, le gluten est présent dans de nombreuses préparations alimentaires. Si la présence du gluten est évidente dans le pain et les pâtes alimentaires, de nombreux produits de l'industrie alimentaire peuvent aussi en contenir (plats cuisinés, glaces, chocolat, ou diverses sauces). Le malade cœliaque doit apprendre à lire les étiquettes des aliments pour détecter la présence de traces de gluten.

II. Le maïs:

1. Généralités sur le maïs

Le maïs est une céréale d'assez grande taille, très largement cultivée pour son grain, utilisée dans l'alimentation humaine et animale, comme fourrage en plante entière (tiges-feuilles-épis) consommée par les animaux, on l'utilise aussi dans la production industrielle et dans l'ornementation.

Le maïs aussi appelé blé d'Inde au Canada est une plante tropicale herbacée annuelle, largement cultivée comme céréale pour ses grains riches en amidon, mais aussi comme plante fourragère. Cette espèce, originaire d'Amérique centrale, était déjà l'aliment de base des Amérindiens avant la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb (**Boukar, 2017**).

Le maïs est aujourd'hui cultivé partout dans le monde et est devenu la première céréale mondiale devant le riz et le blé (**Carraretto et Maryse, 2005**).

Zea mays est une plante monocotylédone diploïde annuelle ($2n=20$) appartenant à la famille des Poaceae et à la tribu des maydeae (**Ristanovic, 2001**).

2. Importance du maïs

2.1. Dans le monde

Le maïs est la plante la plus cultivée au monde et la 1^{ère} céréale produite devant le blé. Il occupe 160 millions d'hectares environ pour une production qui se situe autour de 770 millions de tonnes, soit un rendement moyen d'environ 50 q/ha.

En 2007/08, la production s'est même hissée à près de 800 millions de tonnes du fait notamment d'une récolte américaine record à plus de 330 millions de tonnes. En 2008, elle a fléchi très légèrement.

La figure 10 représente l'évolution de la production et la consommation mondiale du maïs de 1998 à 2008 (**CIC, 2009**).



Figure 10 : Le bilan de la production mondiale du maïs (MT) (CIC, 2009).

Les USA réalisent 40% environ des volumes mondiaux avec une production qui oscille au gré des aléas climatiques autour de 300 millions de tonnes. Avec une surface d'environ 35 millions d'hectares, ils détiennent près de ¼ des surfaces mondiales de maïs. En 2007, ils ont engrangé une récolte record de 332 millions de tonnes suite à une augmentation des surfaces à 37 millions d'hectares environ et un rendement moyen de 90 q/ha environ (CIC,2009).

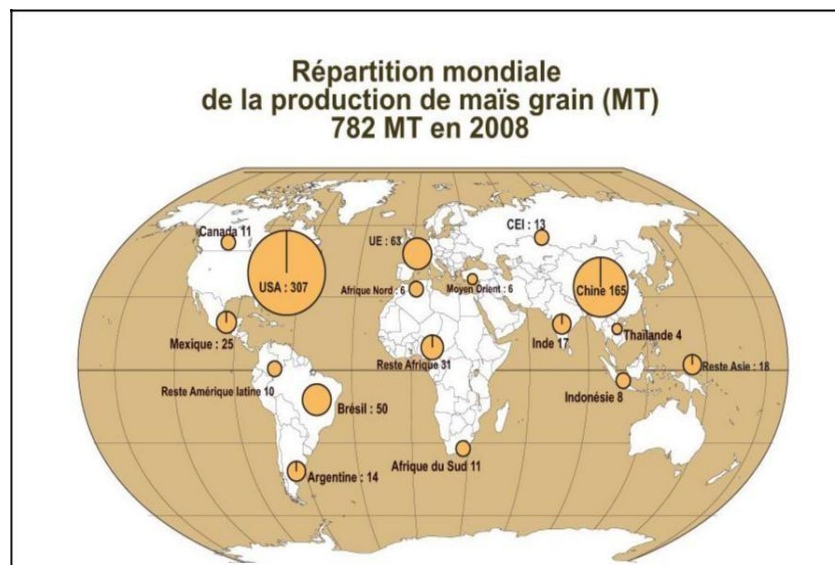


Figure 11: Répartition mondiale de la production de maïs grain (MT) en 2008(CIC, 2009).

La Chine est le second pays producteur mondial de maïs avec des volumes importants également, même si bien en-deçà des volumes américains, de l'ordre de 150 millions de tonnes et ce, sur une surface d'environ 25 millions d'hectares. Les volumes réalisés ailleurs sur la planète (40% au total) sont beaucoup plus modestes et sont principalement le fait du Brésil et de l'UE qui produisent l'un et l'autre 50 à 60 millions de tonnes sauf aléas climatiques (2007 pour l'UE notamment). Suivent enfin, le Mexique, l'Argentine, l'Inde, l'Indonésie ou encore l'Afrique du Sud, parmi les plus significatifs (CIC, 2009).

II.2. En Algérie

Matière première largement utilisée dans la production d'aliment de bétail et de volaille, le maïs occupe une part importante dans la structure des importations céréalières de l'Algérie depuis des années.

A partir de 2014, cette matière stratégique sera produite au niveau local, ont affirmé des ingénieurs de l'ITGC (institut national des grandes cultures). Selon **Omar Zeghouane. M**, directeur général de cet institut et vice-président du comité interprofessionnel des céréales, une expérience a été menée l'année dernière dans les régions du sud et les résultats obtenus ont été très encourageants.

Parmi les régions ayant un fort potentiel pour la production du maïs, Naâma, Biskra, Ouargla et Ghardaïa avec des rendements qui sont estimés entre 80 et 100 quintaux/ha. Pour **Zeghouane. M**, « il est vrai que le maïs est très demandeur en eau, avec une consommation moyenne de 6.000 m³/ha, mais les disponibilités en ressources hydriques dans les régions du sud sont suffisantes pour développer la culture du maïs ».

En première phase, la surface à cultiver pourrait atteindre les 100.000 hectares pour une production attendue entre 8 et 10 millions de quintaux de maïs, a-t-on fait savoir également auprès de cet organisme.

A moyen terme, cette superficie sera élargie afin de contribuer activement à la réduction de la facture des importations. Annuellement, les céréales destinées à l'alimentation animale, principalement le maïs, représentent plus de 30% de la facture alimentaire (**Anonyme, 2014**).

3. Place actuelle du maïs dans l'alimentation humaine

Dans certains pays en voie de développement, le maïs est réservé à la seule alimentation humaine. Cependant, il semble admis aujourd'hui que les 2/3 de la production mondiale soient destinés à l'alimentation animale, le tiers restant se partage entre l'utilisation industrielle et l'alimentation humaine (FAO, INPHO, et Nyabyenda, 1995).

La très grande majorité du maïs est en effet destinée à l'alimentation humaine plus en moins directe concerne le maïs doux, la semoule de maïs, et les produits de la deuxième transformation (céréales petit, déjeuner, snacks), l'huile de germe de maïs, et l'amidon de maïs entrant dans la préparation de nombreux produits alimentaires.

Si le maïs doux est systématiquement mis en avant lorsqu'on parle de maïs pour l'alimentation humaine, le maïs qui nous intéresse ici est le maïs grain, associé aux céréales et produits céréaliers, dont le profil nutritionnel repose sur la richesse en protéines, en sucres lents (glucides complexes lentement digestibles), fibres et minéraux, le maïs doux présente quant à lui les bénéfices essentiellement liés aux fruits et légumes-vitamines, sels minéraux, fibres alimentaires.

La consommation limitée de maïs grain-céréale peut s'expliquer par la prévalence de certains freins, le plus visible étant un frein culturel (c'est à dire l'absence de culture alimentaire maïs dans notre pays comme dans la majorité des pays d'Europe), qui se traduit lui-même, sur le marché, par l'absence de produit phare à base de, à l'image du pain pour le blé tendre ou pâtes pour le blé dur. Or, les recommandations du PNNS pourraient permettre à la fois d'augmenter la consommation d'aliments existants à base blé (pain, pâtes, semoules etc.) et de développer les produits alimentaires issus du maïs (polenta, pain au maïs, nouveaux produits) (Benetrix, 2006).

4. Aspect botanique:

4.1. Taxonomie

Selon saint-clair (1989), le maïs répond à la position systématique suivant :

Classe: des monocotylédones

Sous-classe: des Commelinidaes

Ordre : des Cypéales

Famille : des Poacées (ou Graminées)

Sous-famille : Panicoïdées

L'origine botanique du maïs, a longtemps été sujette à controverses. C'est une plante qui ne peut se multiplier à l'état naturelle sans l'intervention de l'homme c'est ce qui expliquerait son absence à l'état sauvage (Doré et al., 2006).

4.2. Anatomie du maïs:

Selon Maybelline et Abdou (2012), le maïs est une plante herbacée annuelle de 40 cm pouvant atteindre 5 cm. de nombreuses variétés existent selon les différentes caractéristiques, mais celles couramment cultivées ont une taille variable de 1 à 3 m (la figure 12) représente les différentes parties de la plante du maïs.

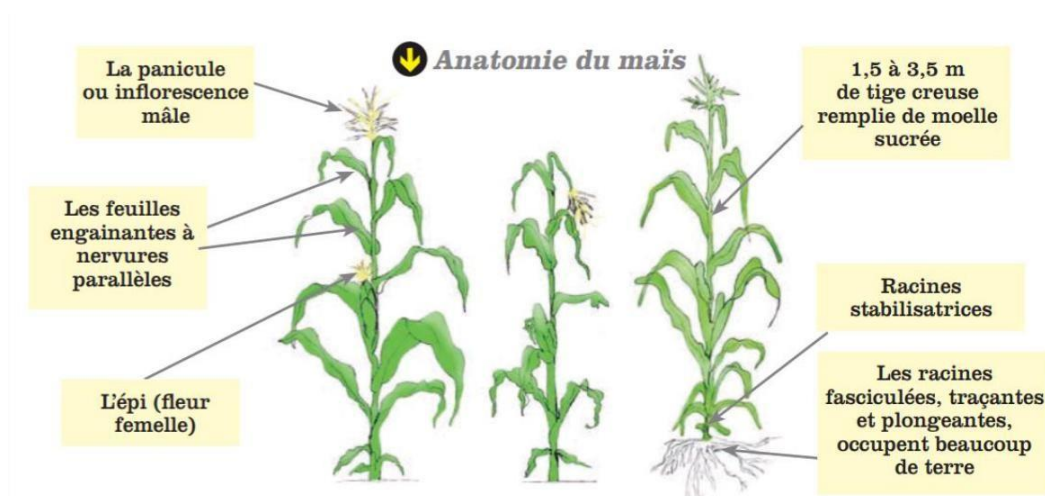


Figure 12: Anatomie du maïs (Maybelline et Abdou, 2012).

- **Les racines**

Les racines, du fascicule, sont superficielles et ne dépassent pas 50cm de profondeur. Des racines adventives aériennes ou crampons se forment sur les nœuds de la base des tiges.

- **La tige**

La tige est longue de 1,5 à 3,5 m et d'un diamètre important, variant de 5 à 6 cm. Elle est lignifiée, remplie d'une moelle sucrée, formée de nœuds et d'entre-nœuds (d'une vingtaine de centimètres chacune). Au niveau de chaque nœud est insérée une feuille de façon alternative sur la tige.

- **Les feuilles**

Elles sont de grande taille (jusqu'à 10cm de large et 1 m de long) et engainantes (qui collent à la tige par sa base) avec un limbe allongé en forme de ruban à nervures parallèles. Entre le limbe et la gaine, on distingue une petite ligule.

- **Les inflorescences**

On trouve les fleurs sur un même pied, une inflorescence mâle et des inflorescences femelles séparées.

L'inflorescence mâle est une panicule terminale composée d'épillets contenant chacun deux fleurs mâles, composées de glumes et glumelles entourant trois étamines. Une à quatre inflorescences femelles sur chaque pied. Elles sont situées sur l'aisselle des plus grandes feuilles au milieu de la tige. Ce sont des épis enveloppés dans des feuilles modifiées appelées « spathes » qui se dessèchent à maturité (**figure 13**), chaque épi est constitué par un « rafle » sur lequel sont insérées en rangées verticales des centaines d'épillets à deux fleurs femelles dont une seule est fertile. Au moment de la fécondation, les styles des fleurs sortent à l'extrémité supérieure des épis sous forme de stigmates filiformes (partie supérieure du pistil en forme de fil) ou de soies vertes ou rosées. Les fleurs femelles possèdent chacune un ovaire surmonté d'un style très long (**Maybelline et Abdou, 2012**).

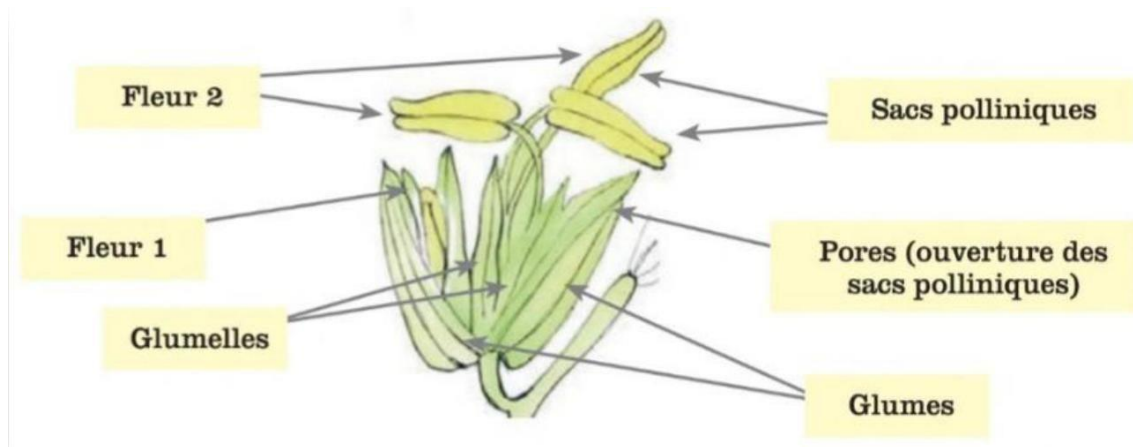


Figure 13 : Les inflorescences du maïs (Maybelline et Abdou, 2012).

- **Les fruits:**

Un pied donne naissance à trois ou quatre épis, mais un seul atteint son développement complet. Selon les variétés, les grains sont disposés en 8 à 20 rangées verticales le long de l'épi, appelé rafle, ils ont des formes multiples (globulaire, ovoïde, prismatique, etc.) de différentes couleurs (blanc, roux, doré, violet, noir). Ils sont Parfus lisses ou ridés. Un épi peut contenir environ 500 à 1000 grains avec un poids moyen de 150 g à 330 g à maturité. Chaque grain (**figure 14**), est composé d'un germe (embryon+cotylédon), d'un albumen et d'un péricarpe qui est une enveloppe extérieure dure qui empêche l'entrée de champignons et de bactéries (Maybelline et Abdou, 2012).

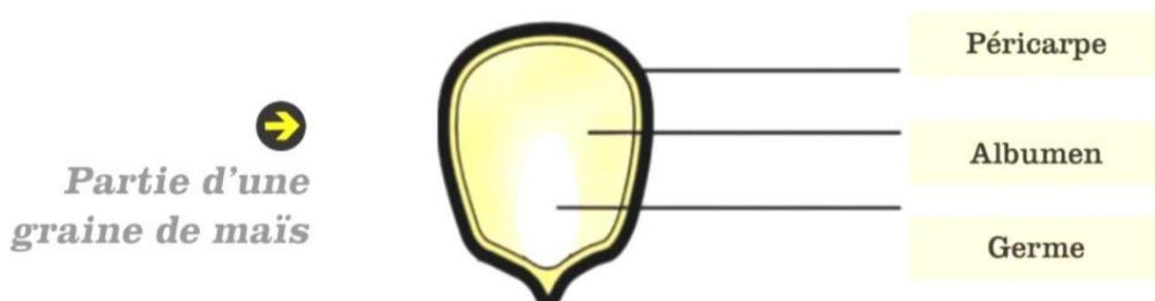


Figure14: Coupe du fruit du maïs (Maybelline et Abdou, 2012).

- **Physiologie, développement et résistance naturelle**

Selon **Maybelline et Abdou (2012)**, il existe quatre stades de la germination du grain de maïs (**figure15**) qui sont :

1. sèche qui gonfle sous l'humidité.
2. Radicaux qui sortent de la graine (2 à 3j).
3. Coléoptile qui sort de la graine (2 à 3j).
4. Levée (8 à 4j).

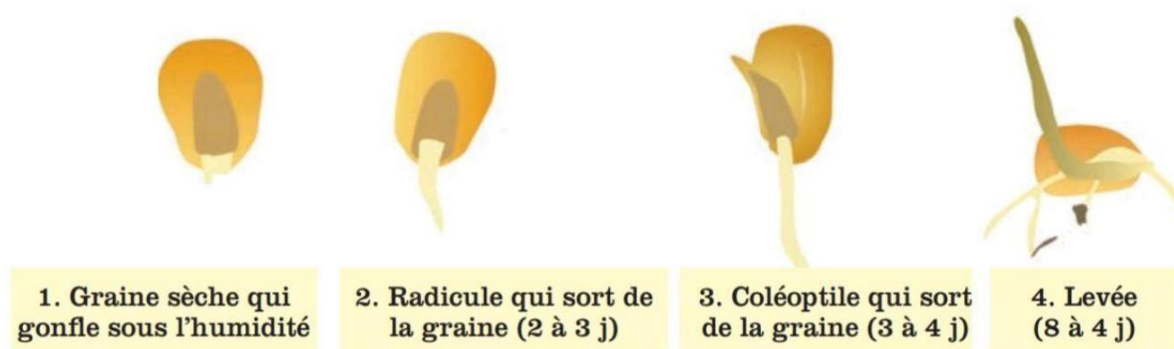


Figure15 : coupe longitudinale du grain de maïs (Maybelline et Abdou, 2012).

Les jeunes plants de maïs accumulent une substance particulière « l'acide hydroxamique », qui crée une résistance naturelle contre toute une série d'ennemis de la plante : insectes, champignons et bactéries pathogènes (**Maybelline et Abdou, 2012**). Lorsque le maïs est attaqué des larves phytophages comme la chenille de la pyrale, il émet des molécules volatiles qui attirent des insectes parasitoïdes prédateurs du ravageur, tel le trichogramme dont la femelle pond dans les œufs de la pyrale. Ceux-ci sont détruits et n'éclosent pas. Les dégâts sur le maïs peuvent être ainsi évités sans avoir recours à des produits chimiques ou à du maïs génétiquement modifié. C'est ce qu'on appelle la lutte biologique.

5. Structure et composition

Le grain de maïs est en fait un caryopse, constitué de trois parties d'origines différentes :

- **L'embryon**

fréquemment nommé «germe», localisé à la base du grain qui comprend l'embryon lui-même ou «gemmule» et le *Scutellum*, c'est-à-dire le cotylédon, organe de réserve dans lequel la plantule puise son énergie initiale ; l'embryon est issu de l'œuf constitué suite à la fusion du noyau d'un spermatozoïde et de l'oosphère.

- **L'albumen**

Tissu de réserve, principalement composé de grains d'amidon, sauf la couche périphérique localisée sous le péricarpe qui contient des grains d'aleurone riches en protéines ; ce tissu est issu de la fusion du noyau d'un spermatozoïde et des deux noyaux de la cellule centrale (c'est par conséquent un tissu à 3nchromosomes).

- **L'enveloppe extérieure**

Fine membrane translucide et fibreuse, issue du péricarpe de l'ovaire (donc en réalité une partie du fruit et non pas de la graine) (**Baudricourt et Hédin, 1988**).

L'amidon de l'albumen se présente sous deux formes : l'amylose, polymère linéaire du glucose, et l'amylopectine, polymère formant une molécule ramifiée. Selon le mode d'assemblage de ces molécules, il se forme de l'amidon farineux, à structure friable, localisé plutôt au centre, ou de l'amidon corné, ou vitreux, à structure dense et compacte, localisé en périphérie et qui contribue à maintenir la forme extérieure du grain. La proportion variable de ces deux formes d'amidon sert à distinguer diverses races. C'est l'amidon corné qui donne sa couleur au grain de maïs, le plus souvent jaune, mais également blanc, rouge, noir, tandis que l'amidon farineux est toujours blanc (**Gay, 1999**). Une coupe longitudinale de grain de maïs est représentée par la Figure 16.

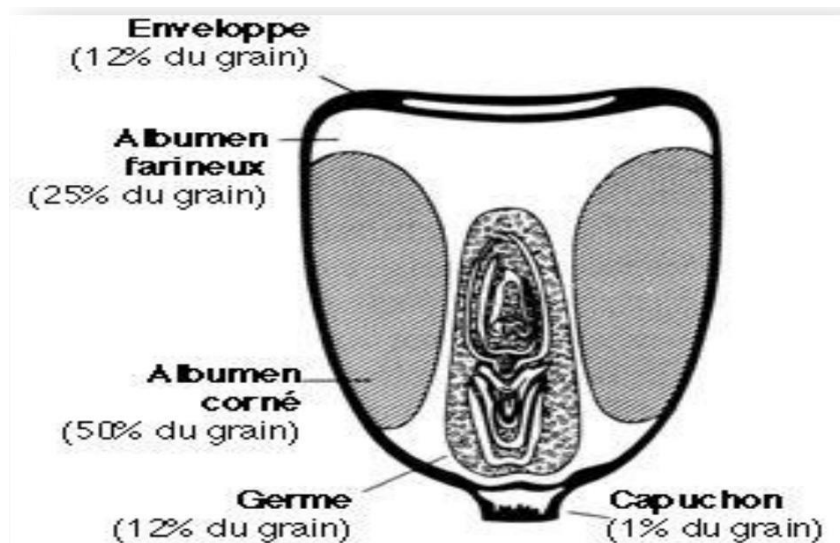


Figure 16 : Coupe longitudinale de grain de maïs (Godon et Willim, 1988).

La composition chimique des principales parties du grain de maïs présente des différences importantes. Le tégument séminal ou péricarpe se caractérise par une forte teneur en fibres brutes environ 87 %, constituées principalement d'hémicellulose (67 %) de cellulose (23 %) et de lignine (0,1 %). D'autre part, l'albumen présente une haute teneur en amidon (87,6 %) et des niveaux de protéines d'environ 8 %. La teneur en graisses brutes de l'albumen est relativement faible. Enfin, le germe se caractérise par une forte teneur en graisses brutes, de 33 % en moyenne; il a également une teneur relativement élevée en protéines (18,4%) et en sels minéraux. la couche à aleurone est une partie relativement riche en protéines (19% environ) et en fibres brutes. (Voir le tableau 07) (Godon et Willim, 1988).

Tableau 07: Composition chimique approchée des principales parties des grains de maïs (en pourcentage) (Godon et Willim, 1988).

Composant chimique	Péricarpe	Mésocarpe	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

6. Propriétés nutritionnelles du maïs grain

Chaque fraction anatomique du grain de maïs possède des atouts nutritionnels

- L'amande contient l'amidon (constituant majoritaire), source de glucides complexes, qui est absorbé plus lentement dans l'intestin que la plupart des glucides simples tels que le sucre et qui représente le nutriment énergétique principal essentiel au fonctionnement des muscles et du cerveau. L'amidon contient également des protéines, présentes en quantités intéressantes. Les caroténoïdes, aux propriétés anti-oxydantes, sont également concentrés dans l'amande du grain.
- Le germe est riche en lipides insaturés, qui sont à privilégier par rapport aux autres classes d'acides gras (les acides gras insaturés, ne représentant que 13% des acides gras totaux, en vitamine E et oligo-éléments (fer, zinc, magnésium, potassium).

- Les parties périphériques, péricarpe et couche à aleurone, contiennent des fibres alimentaires, facteurs de régulation du transit intestinal, ainsi que des phytostérols qui limitent l'absorption intestinale du cholestérol, et des acides phénoliques aux vertus antioxydantes (**Benetrix, 2006**).

Le maïs présente ainsi une combinaison d'un grand nombre de nutriments connus pour avoir des effets potentiels sur la réduction de certaines pathologies.

Au sein des céréales, le maïs a la particularité d'être très riche en micronutriments antioxydants, qui neutralisent les effets néfastes des radicaux libres. Les caroténoïdes, la vitamine, les composés phénoliques ou encore le zinc contribuent à protéger notre organisme des agressions externes (pollution, stress, tabac, UV, etc.). Le maïs peut également contribuer, de par sa variabilité de teneur et de composition en amidon, à une meilleure gestion de la glycémie.

Le magnésium, qui joue de nombreux rôles physiologiques, puisqu'il intervient notamment dans la synthèse des protéines, la transmission de l'influx nerveux ou encore la contraction musculaire, est présent dans le maïs à des concentrations déjà intéressantes sur le plan nutrition-santé. Des investigations ont conduit à identifier, parmi les nombreux lots analysés, un pool génétique qui présente des teneurs au moins deux fois plus élevées que celles couramment rencontrées, ce qui permettrait de couvrir jusqu'à 75% des apports nutritionnels conseillés pour ce minéral (**Benetrix, 2006**).

7. Procédé de première transformation de maïs en semoule

Pour la transformation primaire du maïs, il s'agit des opérations suivantes :

- **Nettoyage**

Permet d'éliminer les impuretés qui peuvent être à l'origine de goût et de texture désagréable.

- **Calibrage**

Permet d'avoir des lots de céréales homogène et un décorticage efficace.

- **Epierrage**

Permet d'éliminer les pierres de même taille que les grains par séparation densimétrique.

- **Dégermage**

Permet d'éliminer le germe qui peut compromettre la conservation des farines.

- **Décorticage**

Permet d'éliminer l'enveloppe indigeste ; Mouture à l'aide d'un moulin à marteaux équipé d'un tamis de mailles de 0,5mm ou d'un moulin à cylindre pour obtenir des farines ayant une granulométrie avoisinant celle des farines de blé pour éviter la ségrégation entre les particules au moment du transport et du stockage.

- **Ensachage.**

7. 1. Semoule de maïs

La semoule de maïs est obtenue après mouture de grains de maïs décortiqués et dégermés que l'on a humidifiés puis séchés. Aussi appelée « polenta », cette semoule rentre aussi bien dans la composition de mets salés que sucrés et étonne grâce à la diversité de ses textures (**voir le tableau08**). Elle peut être crémeuse, ferme ou franchement dure. Une particularité qui lui permet de s'accommoder de multiples façons.

Tableau 08 : la composition de semoule de maïs sec (100g) (DE Man et al. 2015).

Composition chimique	Semoule de maïs crue
Protéines	7,9g
Glucides	74 g
Lipides	1,8 g
Sucres	0 g
Amidon	68g
Fibres	3.6g

Chapitre I : généralités sur le blé dur et le maïs

Ce tableau 08 présente la quantité des compositions chimique de 100 grammes de semoule de maïs sec et les nutriments (protéines, glucides, sucres, lipides, amidon fibres alimentaires) qui entrent dans sa composition.

Les quantités de nutriments indiquées sont des valeurs moyennes, ces valeurs peuvent varier pour différents types de semoule de maïs sec.

Chapitre II :
Le Couscous et
ses aspects

Chapitre II: Le Couscous et ses aspects

1. Généralités

Le couscous, c'est le produit composé de la semoule de blé dur (*Triticum durum*) dont les éléments sont agglomérés en ajoutant de l'eau potable et qui a été soumis à des traitements physique tels (malaxage et roulage) et à des traitements thermiques (pré-cuisson et séchage). Aucun autre ingrédient n'est ajouté sauf le sel, éventuellement présent dans l'eau d'hydratation utilisée pour l'agglomération de la semoule (**Dahoun-Lefkir, 2005**).

Le couscous est un plat d'Afrique du Nord, d'origine berbère, populaire dans de nombreux pays. L'origine du mot couscous est moins sûre, désigne à la fois la semoule de blé dur et le plat populaire dont elle est l'ingrédient de base. La préparation du couscous demeure globalement identique : le grain du couscous est fait à partir du blé dur, l'eau, du sel et de la farine directement à la main. La première machine reproduisant le geste humain du roulage des graines de semoule a été mise au point en 1953 par les frères FERRERO (**Kellou, 2008**).

2. Les matières premières

2.1. Lasemoule

Les semoules de blé dur constituent la matière première de choix pour fabriquer des couscous (**Feillet, 2000**).

Selon la codex, la semoule utilisée pour la fabrication de couscous doit être soit des mélanges de 30% de semoule fine (130 à 183 micromètres) et 70 à 80 de semoule grosse (475 à 700 micromètre) ou une semoule dite (grosse moyenne) dont le grain a un diamètre compris entre 183 à 700 micromètre.

Une enquête de **Derouiche (2003)** montre que les ménagères algériennes choisissent leur semoule selon trois critères principalement : la couleur, la granulométrie et la pureté. La plupart des ménagères préfèrent l'utilisation d'un mélange de semoule moyenne et farine de blé dur pour la préparation de couscous (**Yousfi, 2002**).

Selon le **codex stand 178-1991** la semoule est un produit de meunerie obtenu par mouture grossière, de grains humidifiés de blé dur : on a utilisé la semoule moyenne de diamètre compris 710 µm et 355 µm et la semoule fine diamètre compris entre 425 µm et 125 µm.

Chapitre II : le couscous et ses aspects

Selon **le codex alimentarius 202-1995** elle doit être saine et propre à la consommation humaine, exempt d'odeurs et de goûts anormaux ainsi que d'insectes vivants, la teneur en eau doit être 14.5 % maximum, et doit être exempt de métaux lourds et conformes aux limites maximales de résidus fixés, emballé dans des récipients préservant les qualités hygiéniques, nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du produit. Selon **la Codex Stan 202-1995**:

- la semoule dit grosse est une semoule dont le grain a un diamètre compris entre 475 et 700 Microns. La semoule dit fine est une semoule dont le grain a un diamètre compris entre 130 et 183microns.
- La semoule dit grosse- moyenne est une semoule dont le grain de diamètre compris 183 et 700microns
- La semoule dite moyenne est une semoule dont le grain a un diamètre compris entre 183 et 475microns

Les proportions des semoules dans le mélange pour la fabrication du couscous sont de l'ordre de:

- 20% à 30% pour la semoule fine.
- 70% à 80% pour la semoule grosse.

La semoule « grosse –moyenne » est une semoule obtenue par le mélange de :

- 25% à 30% de semoule grosse.
- 70% à 75% de semoule moyenne. (Codex alimentaires (**norme de codex 202-1995**)).

D'après (**Kellou ,2008**) ; toutes les entreprises Algériennes transformatrices du blé déclarent que:

❖ Indices de coloration jaune:

Plus la semoule est jaune plus la qualité gustative et la couleur des produits finaux seront meilleures.

❖ Le taux de gluten:

Plus les semoules à une forte teneur en gluten plus la qualité des produits finaux ne sera meilleure notamment dans la fabrication des pains traditionnels algériens.

Selon **feillet, (2000)** on peut classer les semoules en trois catégories en fonction de leur teneur en gluten sec :

- **Semoules à $GS < 11\%$** : ce sont des semoules insuffisantes qui donnent des pâtes ayant une faible résistance à la cuisson.
- **Semoules à $11\% < GS < 15\%$** : ce sont des semoules satisfaisantes, possèdent une bonne valeur plastifiante .la GS se situe entre 12 % et 13%.
- **Semoules à $GS > 15\%$** : ce sont des semoules améliorantes, elles sont caractérisées par une couleur jaune foncée, et un temps de cuisson élevé, ce type de semoules est généralement coupé avec des semoules insuffisantes.

❖ **La teneur en protéines :**

Donc révélée au facteur déterminant des propriétés rhéologiques et culinaires des semoules (**Paul, 2007**). Semoule de blé dur min : 10,5% sur la base de matière sèche selon la norme **Codex Stan 178-1991 (Rév. 1 - 1995)**.

❖ **La teneur en cendre:**

Est l'indicateur de la qualité semoulière, c'est à dire le poids de semoule rapportes au poids du blé mis en œuvre en meunerie (**Madani, 2009**) la teneur en matières minérales varie dans le même sens que le taux d'extractions des semoules, la teneur en cendres de l'amande est d'environ 10 fois plus faibles que celle des enveloppes donc la teneur en cendres d'une semoule ne doit être inférieurs à 0.5%.

❖ **Teneur en eau**

Les semoules destinées à la fabrication des pâtes alimentaires doivent avoir une teneur en eau 14 à 15 %, les semoules ayant des teneurs en eau élevés donneraient des pâtes alimentaires auraient la tendance de coller et seront caractérisées par l'écoulement et les semoules possèdent des teneurs en eau faible n'absorberaient pas l'eau facilement lors de la presse (**Godon, 1998**).

3. L'eau de procès

L'eau de procès doit satisfaire les exigences d'une bonne qualité chimique, microbiologique et organoleptique.

La qualité des eaux de fabrication industrielle dépend des

3.1. Paramètres physico-chimiques

A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, la température ne doit dépasser 25°C°.

Chapitre II : le couscous et ses aspects

Le pH doit être supérieur ou égal à 6.5 unités pH et inférieur ou égal à 9 unités pH. Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci –après:

- Chlorures200 mg/l(Cl)
- Sulfates...250 mg/l(SO₄)
- Magnésium50mg/l(MG)
- Sodium..... 150mg/L(Na)
- Potassium..... 12mg/L(K)
- Aluminium..... 0.2mg/L(Al)

A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, pour lesquelles la valeur de 0.5 mg/l ne doit pas être dépassée.

- Titre alcalimétrie complet 50 degré français

- La quantité de résidus sec, après dessiccation à 180 C° doit être inférieure ou égale à 1500 mg /l (**vierling,1998**).

3.2. Paramètres microbiologiques

L'eau ne doit pas contenir de coliformes thermo tolérants et de streptocoque fécaux, dans 100 ml d'eau prélevé. L'eau ne doit pas contenir plus d'une spore de bactéries aérobiose Sulfito-réductrices par 20 ml d'eau prélevée (**vierling ,1998**).

4. Le Procédés de fabrication du couscous

Le couscous est préparé à partir d'un mélange de semoule grosse et de semoule fine. Il peut aussi être préparé à partir de la semoule dite « grosse-moyenne » (**norme de codex 202-1995**). Pendant la fabrication de couscous, la semoule doit être hydratée avec de l'eau salée de 4-5 g de NaCl / l (**Kaup et Walker, 1986**).

Le couscous est fait à partir du millet perlé au Sénégal et du maïs au Togo (**Kaup et Walker, 1986**). Le couscous de maïs, de sorgho et de millet sont des aliments traditionnels de Plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest, d'Amérique Centrale et de l'Est (**Galiba et al., 1988**). Leur fabrication ressemble à celle de couscous de blé dur du Nord-Africain sur certains points (**Aluka et al., 1985**). Environ 10 % du blé dur au Proche Orient est employé pour fabriquer le couscous (**Williams, 1985**). Les étapes de fabrication de couscous commercial sont identiques

à celles de couscous traditionnel (**Kaup et Walker, 1986**). Traditionnellement, les femmes d'Afrique du Nord fabriquent leur couscous à la main, mais depuis 1953,

La fabrication de ce dernier a été industrialisée grâce aux frères **FERRERO**. Nous soulignons que dans le monde, il se produit environ 300 000 tonnes de couscous par an (**Desousa, 2001**). Le couscous est industrialisé et connaît un développement international. Les capacités installées dans certains pays sont indiquées dans le tableau 09.

Tableau 09 : Capacité de production de couscous industriel installée dans certains pays
(Anonyme, 2004).

Pays	Capacité (tonne/an)
Tunisie	85000
Algérie	50000 dont 20000 sont en cours
Mauritanie	9 500
France	112 500
Italie	1 4000
USA	11 600
Canada	6 300

4.1. Procédé industriel de fabrication du couscous

Le couscous industriel est préparé à partir d'un mélange d'un tiers de grosses semoules (630 à 800 μm) et deux tiers de fines semoules (250 à 630 μm) (**Boudreau et al., 1992**). D'après l'auteur, la fabrication du couscous industriel débute par l'hydratation en continu de la semoule et du sel (environ 30 litres d'eau pour 100 kilogrammes de semoule), suivie par les étapes du roulage et de cuisson à la vapeur (180°C pendant 8 minutes). Après cuisson, le couscous humide subit les étapes de séchage (en deux stades, le premier à 65°C pendant 120

Chapitre II : le couscous et ses aspects

minutes et le second à 55°C pendant 270 minutes), de refroidissement et de tamisage à l'aide d'un plansichter.

Le couscous industriel, appelé couscous rapide du fait qu'il est considéré comme étant précuit, est obtenu par roulage mécanique, pré cuisson puis séchage. Il est fabriqué dans des lignes distinctes de celles des pâtes alimentaires (**Anonyme, 2004**). Industriellement, le couscous peut être produit en mode continu à 500 kilogrammes par heure (**Seiler,1982**).

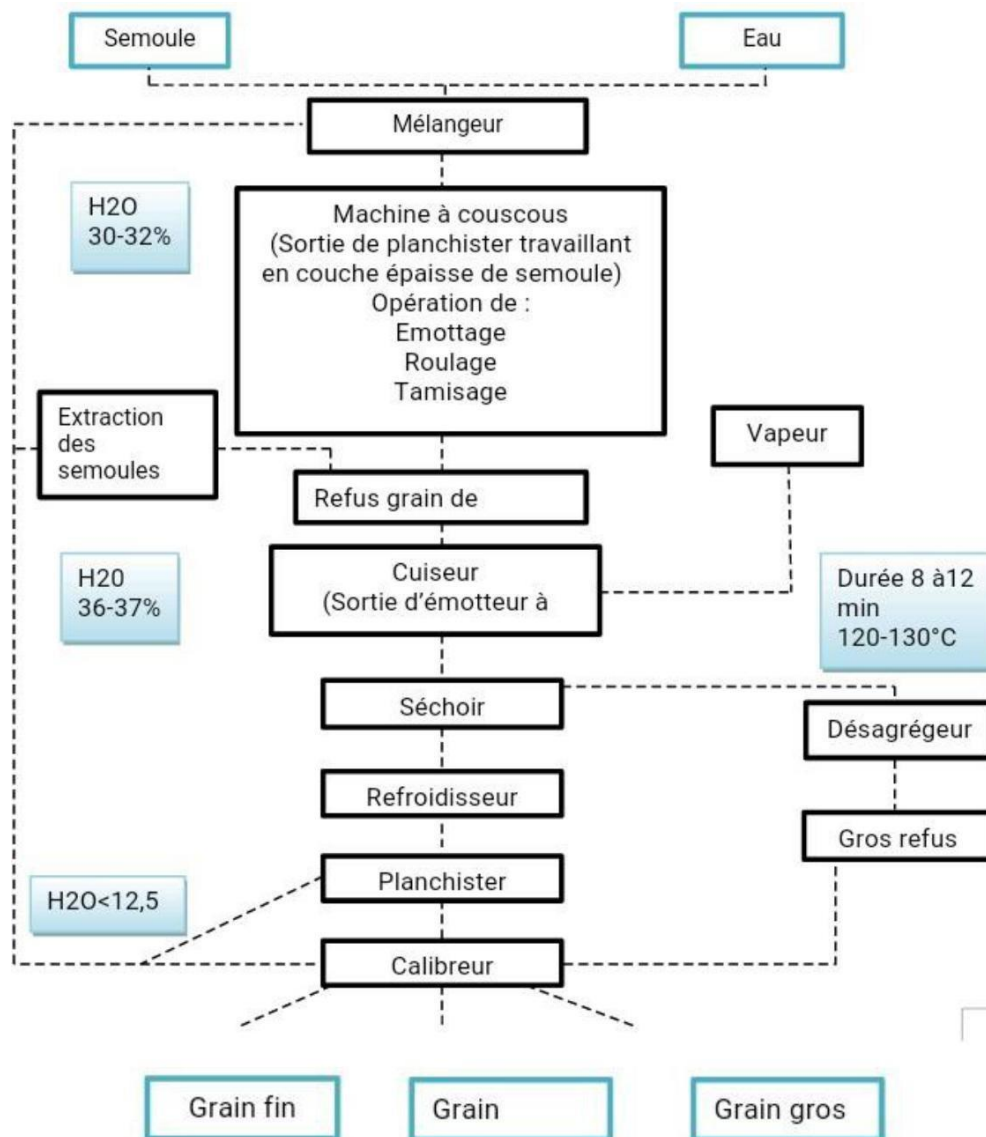


Figure 17: Diagramme de la production industrielle du couscous (**Djairene,2012**).

4.2. Procédé artisanal de fabrication du couscous

Traditionnellement, le couscous est produit en petite quantité dans la maison (**Seiler, 1982**). La préparation du couscous demeure globalement identique. D'après les travaux de **Bahchachi (2002)**, **Yousfi (2002)**, **Derouiche (2003)**, le couscous artisanal est le produit de l'agglomération de la semoule (grosse et fine) sous l'effet de l'hydratation et de roulage. La matière première est d'abord subie une classification pour séparer les particules grosses ($\varnothing > 500\mu\text{m}$) et les particules fines ($\varnothing \leq 500\mu\text{m}$) de la semoule. Ensuite la semoule grosse est hydratée par l'eau salée et roulée à la main plusieurs fois, en ajoutant chaque fois une quantité de la semoule fine et parfois de la farine de blé dur ($\varnothing \leq 280\mu\text{m}$). Dans certaines régions, la semoule grosse est antérieurement traitée à la vapeur d'eau avant de la passer à l'étape de l'hydratation. L'agglomérat de la semoule est par la suite tamisé pour obtenir le couscous humide qui ultérieurement précuit à la vapeur d'eau, émotté, calibré et séché à l'air libre et au soleil. **Dagher (1991)** a souligné que le grain de couscous est fait à partir de la semoule, de l'eau et du sel, hydraté et roulé avec les mains et tamisé par 5 types de tamis. Ensuite, il est précuit puis séché sur un linge à l'air libre.

Selon **Namoune et al., (2004)**, la femme fabrique le couscous toute seule ou par fois elle demande l'aide de ses cousines ou ses voisines qui se réunissent pour cet objectif.

Le couscous humide est préparé de la même manière que le couscous sec mais ne subit pas le séchage. Il est généralement préparé et consommé le même jour (**Derouiche, 2003**). Les traitements artisanaux se distinguent uniquement par la nature du roulage et de pré cuisson par rapport aux traitements industriels. Ils sont mieux adaptés à la fabrication d'un couscous de qualité (**Yousfi, 2002**).

4.3. Principe de production de couscous

Il consiste à assembler ou coller des particules de semoule en utilisant de l'eau froide (4 particules au maximum).

- ❖ **Mélangeur** : mélange de particules avec l'eau froide (humidité 30%) avec différentes formes de particules collées.

- ❖ **Fabrication de couscous (rouleur)** : cette partie consiste à rouler les particules collées pour obtenir une forme cylindrique et déclasser les particules non collées (recyclage fine) ou la récupération des boules vers le mélangeur.
- ❖ **Cuisson** : consiste à humidifier les particules collées de forme cylindrique par le biais d'une vapeur humide de température 105°C pendant 15min. L'objectif est d'absorber le maximum d'eau à l'intérieur du grain de couscous et de le fixer. À la fin de cette opération. Deux phases sont nécessaires à savoir : le d'émottage et l'émottage.
- ❖ **Séchage** : le séchage s'opère dans deux zones à températures différentes. Son rôle est de baisser l'humidité de 35% à 12,5% en jouant sur l'humidité relative (température ambiante). Sa durée est de 30 à 35min.
- ❖ **Refroidissement** : son rôle est de stabiliser l'humidité entre l'intérieur et l'extérieur du grain et de fixer la température de grain à une température ambiante pour un meilleur stockage et conditionnement. Sa durée est de 4 à 5min.
- ❖ **Tamissage** : en fonction de la granulométrie souhaitée, l'opération de tamissage permet de classer les sorties en 5 catégories de produit :

1. Couscous moyen 60%
2. Couscous fin 30%
3. Boules 3%
4. Gros 5%
5. Retour fin 2%

- ❖ **Broyage** : son rôle est de diminuer la granulométrie pour atteindre la granulométrie du produit fini à l'aide d'une opération de séparation.
- ❖ **Stockage** : son rôle est de préparer le produit fini pour le conditionnement (**Kellou, 2008**)

5. Qualité du couscous

5.1. Qualité nutritionnelle

La qualité nutritionnelle d'un aliment dépend de ses caractéristiques propres, c'est-à-dire de sa composition mais également des conditions dans lesquelles il est préparé et consommé (**Derouiche, 2003**). Par ailleurs, le couscous fournit une part importante de l'apport énergétique de la ration (350 kcal / 100g de ms) vue sa richesse en glucides (75g/100g) (**Dagher, 1991**).

5.2. Qualité hygiénique

Selon le *codex alimentarius* (**norme de codex 202-1995**), le couscous doit être exempt de microorganismes susceptibles de se développer dans le produit dans des conditions normales d'entreposage et ne doit contenir aucune substance provenant de microorganismes en quantités pouvant présenter un risque pour la santé.

5.3. Qualité organoleptique

Selon **Guezlane (1993)**, le couscous de "bonne qualité" est un produit jaune ambré, d'une capacité d'absorption d'eau élevée, ses grains restent individualisés et fermes une fois hydratés. La qualité organoleptique du couscous regroupe la qualité commerciale qui concerne l'aspect du couscous (couleur, granulométrie, forme des particules, etc.) et la qualité culinaire qui représente le comportement des grains du couscous au cours de la cuisson (gonflement, prise en masse, délitescence, fermeté, etc.).

Il y'a plusieurs paramètres de la qualité commerciale du couscous sont :

5.3.1. Couleur du couscous

Les grains de couscous sont caractérisés par une couleur jaune-claire (**Guezlane, 1993**). Selon **Lepage et Sims (1968)** cité par **Trono et al. (1999)** ; **Hentschel et al. (2002)** ; **Guarda et al. (2004)**, la couleur jaune des pâtes alimentaires, faites à partir de la semoule de blé dur, est due à la présence de la lutéine de caroténoïdes principalement les xanthophylles.

Ces caractéristiques de couleur sont comprises entre 0-4 pour la teinte rouge (a*), 27-45 Pour la teinte jaune (b*) et 21-72 pour l'éclat (L*) (**Guezlane, 1993** ; **Debbouz et al., 1994** ;

Debbouz et Donnelly, 1996). Le couscous artisanal est caractérisé par des valeurs légèrement plus élevées de b^* (30,7) et L^* (71,3) que le couscous industriel ($b^* = 27,1$ et $L^* = 68,9$), car le couscous industriel perd plus des pigments de carotènes pendant le traitement (**Guezlane et al., 1986 ; Debbouz et Donnelly, 1996**). **Guezlane (1993)** et **Yousfi (2002)** ont indiqué que la coloration du couscous cru dépend principalement des caractéristiques de la matière première, et de la contribution des facteurs du procédé de fabrication.

La coloration est influencée par la quantité de pigments caroténoïdes et flavonoïdes ainsi que par la teneur en enzymes lipoxygénasiques et polyphénol-oxydasiques des variétés de blé dur. **Idir (2000)** a noté que l'augmentation du taux d'extraction de la semoule conduit à une augmentation de l'indice de brun. Selon les études de **Debbouz et al., (1994)**, l'augmentation des dimensions des particules de semoule conduit à une légère diminution de l'éclat de couscous (L^*). Par contre, **Idir (2000)** a montré que le couscous devient terne avec la diminution de la granulométrie de la semoule dont il issu c'est-à-dire des indices de brun plus élevés. Ainsi, La granulométrie du couscous affecte considérablement sa couleur (**Boudreau et al., 1992 ; Debbouz et al., 1994**).

5.3.2. Granulométrie des particules:

Le *codex alimentarius* (**norme de codex 202-1995**) indique que la granulométrie de couscous doit être comprise entre 630 et 2000 μm .

Le couscous industriel est habituellement vendu sous trois types différents selon la taille de grain (fin, moyen et gros). La description de granulométrie de couscous doit être envisagée par des courbes de distribution de dimension particulaire (**Guezlane, 1993**) ou par des histogrammes des distributions de densité et des distributions cumulatives.

La valeur de diamètre moyen pour les grains de couscous artisanal moyen ($D50 = 800 \mu\text{m}$) est inférieure à celle de son homologue industriel (**Figure 18**). Le couscous artisanal est proche de couscous industriel fin. On observe une dispersion relativement grande dans la dimension particulaire autour du diamètre moyen ($D84 / D50 = 1,30$) pour les grains de couscous.

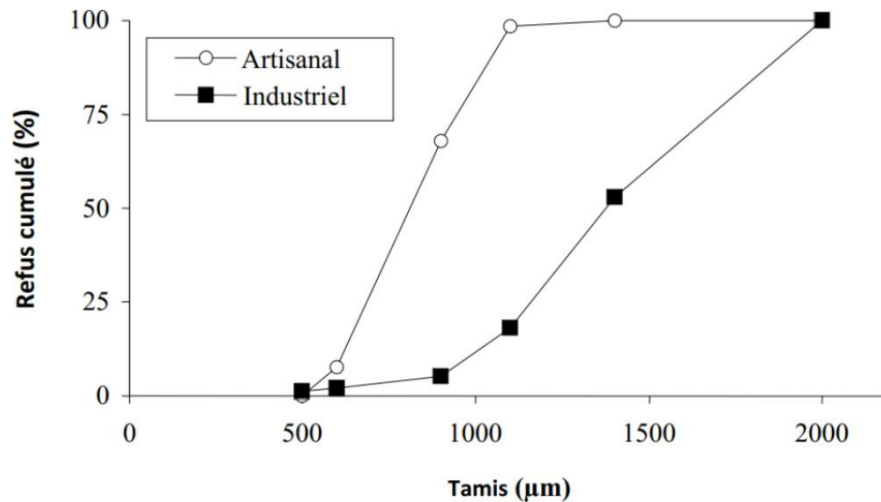


Figure 18: Exemples des courbes de distribution de dimension particulaire pour le couscous industriel moyen et le couscous artisanal (**Guezlane, 1993**).

Idir (2000) a noté une diminution de la D50 avec l'augmentation du taux d'extraction. Selon **Senator (1983)**, l'hydratation des semoules lors de fabrication de couscous ne dépend pas uniquement de l'humidité initiale de la matière première et de sa granulométrie, mais aussi de la grosseur des particules de couscous désirée.

5.3.3. Forme des particules:

Selon l'enquête réalisée par **Derouiche (2003)**, la qualité du couscous sec est présentée la granulométrie homogène, la forme arrondie et la couleur jaune claire. **Debbouz et Donnelly (1996)** ont indiqué que la forme presque sphérique des grains de couscous peut être décrite en utilisant les micrographes électroniques de balayage (**Figure19**).

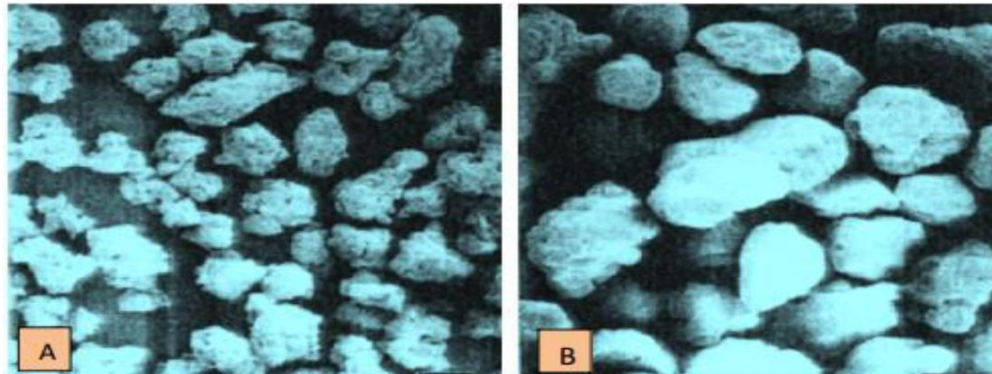


Figure 19 : Micrographes électroniques de balayage (12x) A des grains du couscous artisanal et (B) des grains du couscous industriel (barre = 830 μ m) (Debbouz et Donnelly,1996).

5.4. Qualité culinaire de couscous

La qualité culinaire du couscous est appréciée par sa tenue à la cuisson telle que reflétée par état de surface qui doit être non collant (Boudreau et Menard ,1992) et le gonflement.

5.4.1. Le temps de cuisson

On peut définir le temps minimal de cuisson comme le temps nécessaire pour gélatiniser totalement d'amidon (Godon et Loisel, 1997).

Les caractéristiques de couscous considéré comme souhaitable sont :

Des grains qui conservant leur intégrité au cours de leurs cuisson à la vapeur (figure 20) et Au moment de leur mélange à la sauce .Selon (Guezlane ,1993) des grains à taux d'absorption en sauce et d'eau élevée, ses grains restent individualisés et fermes une fois hydratés.

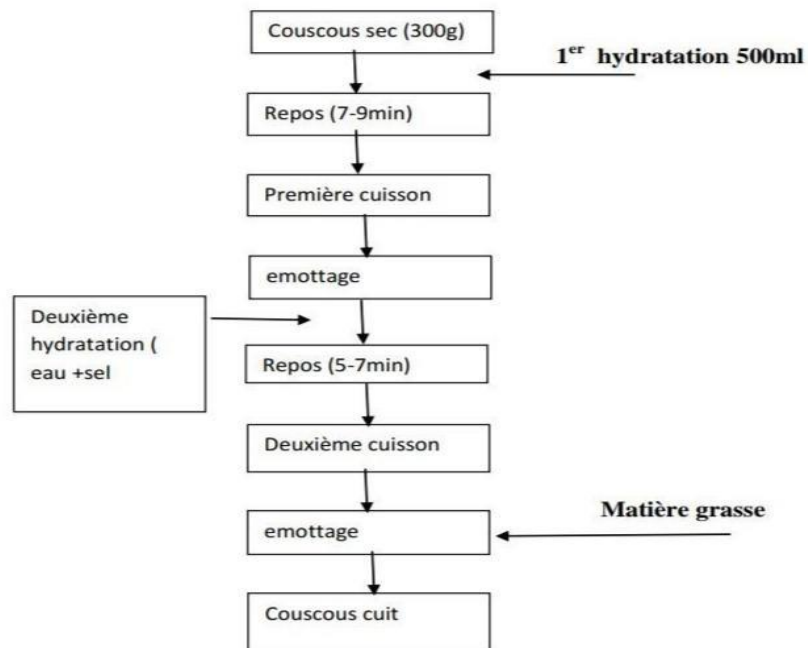


Figure 20 : diagramme de cuisson traditionnelle de couscous (Derouiche, 2003).

6. Le couscous en Algérie

Le couscous est toujours préparé manuellement jusqu'à aujourd'hui. Pour cela, plusieurs ustensiles sont utilisés. L'humidification et le laminage de la semoule sont effectués sur la « gasaa », qui est un plat très large et une assiette creuse en terre cuite ou en bois (**Figure 21 A et B**). Le calibrage des grains de couscous humide se font par tamisage à travers des tamis (**Figure C**) et à la vapeur avec un couscoussier en terre cuite (**Figure 21A et C**). De la préparation maison et manuel (Chemache et al.,(2018)).



Figure 21: Images de gasaa en bois (A et B) et un tamis (C) appelé Gherbal en arabe et Agherval en langues berbères (Chemache et al., (2018).

Pour cuisiner le couscous. La marmite à vapeur est appelée « taseksut » en berbère et « Kaskas » en arabe (figure 22), il est généralement composé de deux pots emboîtables, en céramique traditionnelle ou en métal (acier, aluminium ou cuivre). La première, la base, qui est le plus grand, contient de l'eau ou de la soupe utilisée pour produire la vapeur d'eau dans la viande et des légumes à cuire en ragoût. Le deuxième, le pot plus petit, qui est conçu pour être placé sur la partie supérieure, a un couvercle (Chemache et al., (2018).



Figure 22 : Exemples De Couscoussier, Cuiseurs Vapeur Traditionnels Pour La Préparation De Couscous, Fabriqués En Céramique (A et B) ou en métal (aluminium) (C) (Chemache et al.,(2018).

Chapitre II : le couscous et ses aspects

Le couscous est consommé avec différents types de viande ou de produits ethniques à base de viande. Le plat de couscous est par exemple accompagné de viande de poulet, de viande rouge (viande de bœuf et de mouton), de viande séchée appelée guedid ou achedhlouh par les berbères, d'abats d'animaux abattus (estomacs et intestins) appelés douara et bouzelouf, tels que des saucisses merguez, et même avec fish (**figure 23**) (Chemache et al.,(2018).

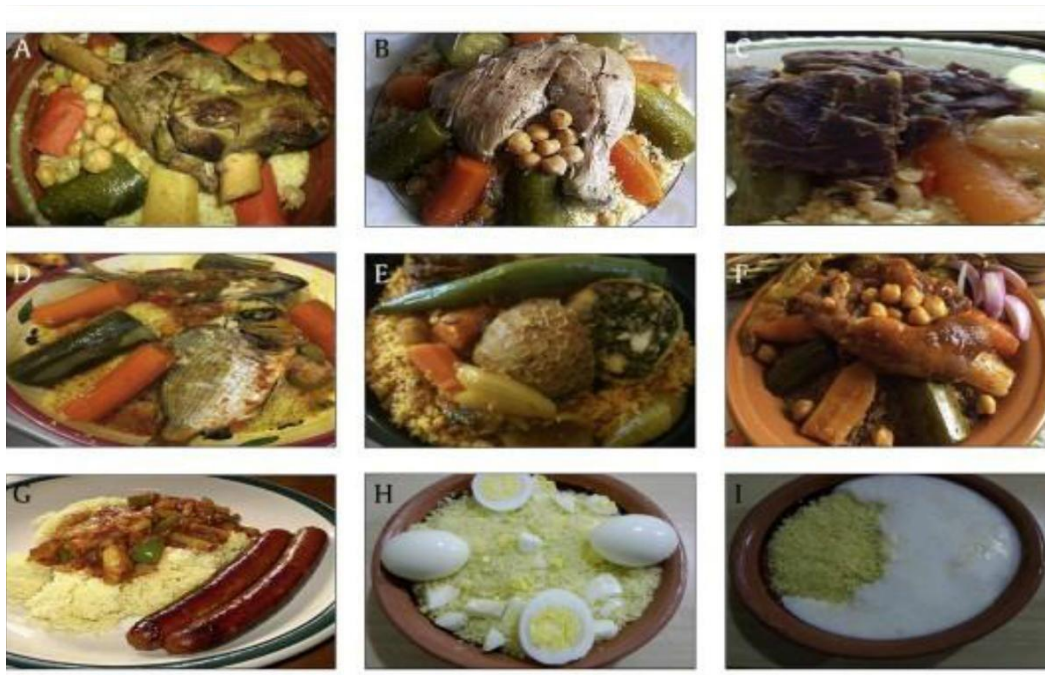


Figure 23 : Différents plats de couscous maghrébin (Chemache et al., (2018).

- A) Le couscous avec la viande rouge de bœuf ou de mouton
- B) Le couscous avec de la viande de poulet.
- C) Le couscous avec du guedid.
- D) Le couscous avec fish.
- E) Le couscous avec Douara.
- F) Le couscous avec bouzelouf.
- G) Le couscous avec merguez.
- H) Le couscous avec sucre et durs œuf.
- I) Le couscous avec le lait fermenté l'ben (ou Ighi en berbère) ou Dehane.

Le couscous est également préparé et consommé avec des légumes tels que la fève, le pois et l'oignon ou des fruits tels que les raisins secs et frais et les dattes. Dans ce cas, la sauce est Par du lait caillé appelé raib ou lait fermenté l'ben ou jben, ce plat est appelé mesfouf (**figure 24**)(Hamama A., et Bayi M., 1991).



Figure 24 : Photographies de mesfouf préparées avec (A) féverole et pois ou (B) avec des fruits tels que des raisins secs et des dattes (**Chemache et al., (2018).**

Deuxième partie :

Partie

Expérimentale

Chapitre III :

Matériels

Et

Méthodes

Chapitre III : Matériel et méthodes

1. Objectif de l'expérimentation

Notre stage pratique s'est déroulé au niveau de la société **SOSEMIE**. Au début de notre travail, nous nous sommes fixé comme objectif d'effectuer une caractérisation physico-chimique et sensorielle d'un couscous artisanal de maïs et le comparer avec le couscous de blé. Cependant, nous n'avons pas réalisé la partie analyses physico-chimiques pour les semoules et couscous à cause des restrictions imposées en raison de la crise du **COVID-19**.

2. Fabrication du couscous artisanal

2.1. Matériel de fabrication

2.1.1. Matière première

Pour la préparation du couscous du maïs, nous avons utilisé la semoule de maïs sans gluten qui a été achetée du commerce produite le 02 septembre 2019 par la société **LA MOCORNE** (Boumerdess) et conditionné dans un sac en plastique de 800 g.

Pour la préparation du couscous témoin de blé dur on a utilisé la semoule produite par la société **SOSEMIE**.

2.1.2. Ingrédients

- **Eau:** l'eau utilisée est l'eau potable légèrement froide afin d'éviter l'agglomération excessive de la semoule de maïs.
- **Sel:** nous avons utilisé le sel de cuisine iodé produit par l'OASISEL, conditionné en 1 kg acheté du commerce.

2.2. Matériel utilisé

- **Guessâa**

Large écuelle en bois du diamètre de 50 cm, utilisée couramment pour la fabrication de couscous, le pétrissage d'autres pâtes et rarement utilisée pour servir le plat de couscous pendant les grandes fêtes afin de manger en ensemble.

- **Tamis**

Les tamis utilisés sont classés selon leurs produits finis. Ils sont convenablement adoptés pour l'obtention de la granulométrie désirée.

- **Couscoussier**

C'est l'ustensile de la cuisson de couscous, il est en aluminium et constitué d'une partie

Supérieure renfermant des trous identiques qui permettent le passage de la vapeur aux grains de couscous, et une partie inférieure plus grande que la partie supérieure dans laquelle est placée l'eau à bouillir.

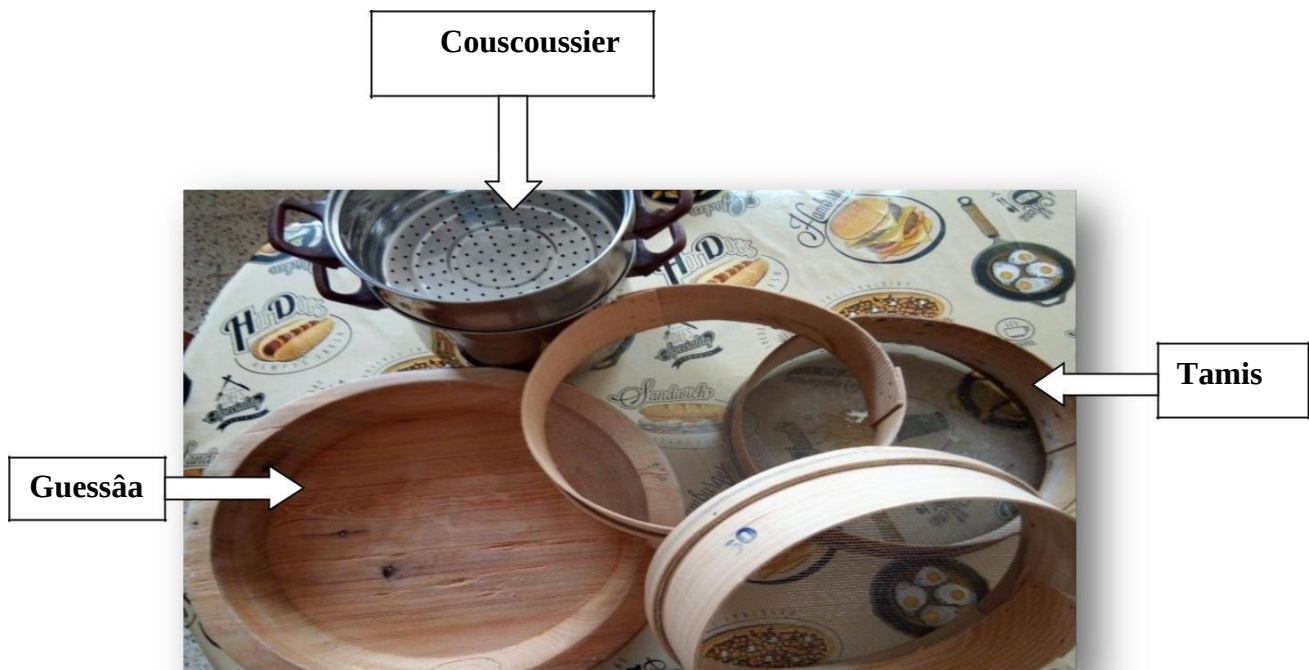


Figure 25: Matériel de fabrication artisanale de couscous.

3. Les étapes de fabrication de couscous artisanal de maïs:

1ère étape :

Malaxage et roulage l'hydratation de semoule par des ajouts d'eau salée (5g/L) intermittents se poursuit avec le roulage.

2ème étape : **Tamisage**

Après chaque étape de roulage et d'aggrégation afin de permettre une meilleure homogénéité.

4ème étape : 2ème Tamisage

5ème étape :

La pré-cuisson

à la vapeur est réalisée dans une couscoussière jusqu'à ce que la vapeur traverse complètement le couscous.

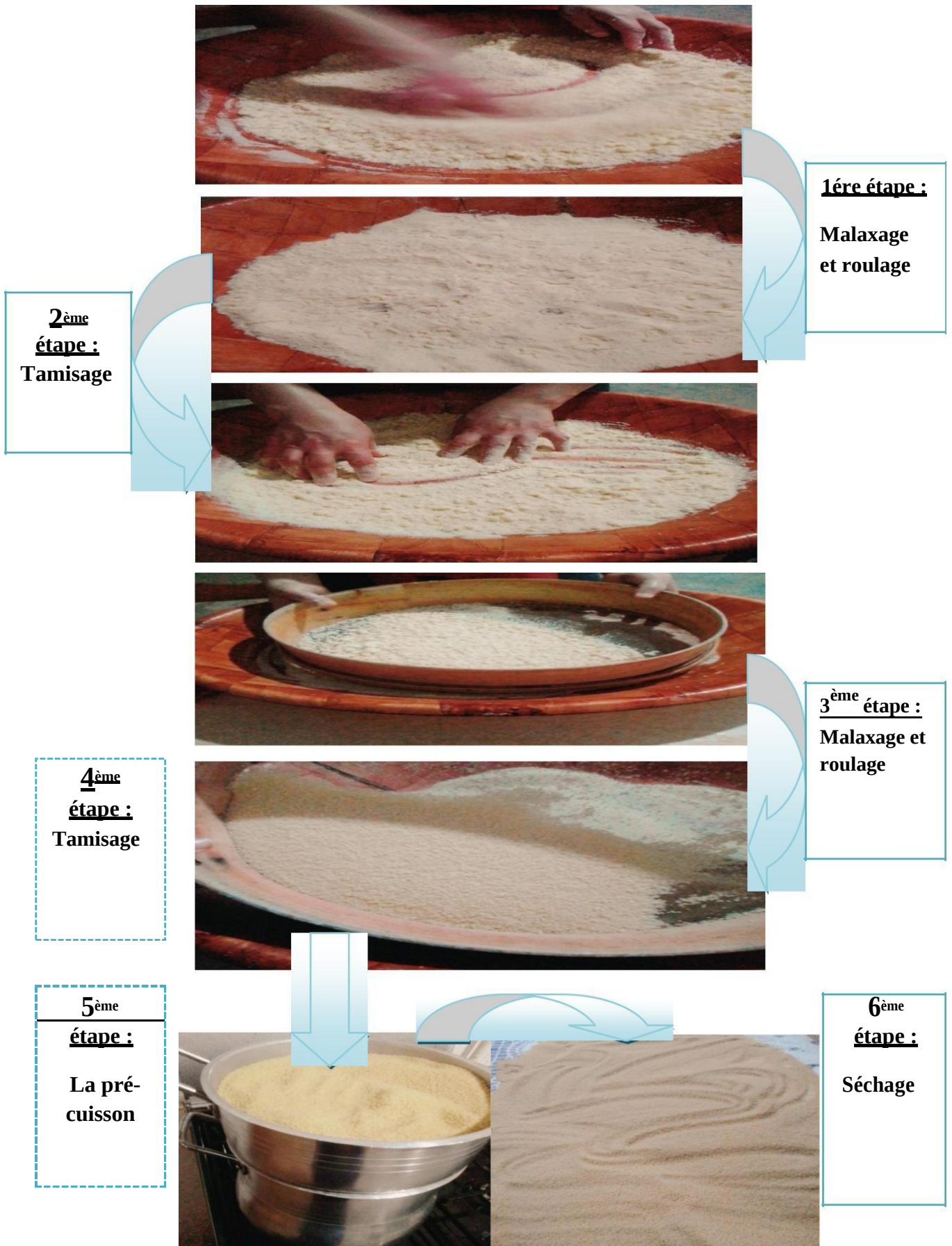
6ème étape :

Séchage

Le couscous cuit est étalé sur un drap et mis à sécher à l'ombre et à température ambiante.



4. Les étapes de fabrication de couscous artisanal de blé dur:



5. Test de cuisson

Il consiste à déterminer le taux de prise en masse du couscous lors de la préparation par cuisson d'une quantité bien déterminée de couscous cru et suivre les modifications rapportées sur le poids après chaque étape de préparation:

- **1er mouillage**

Mouiller 100 g de couscous avec de l'eau puis faire égoutter tout de suite et laisser le pendant 10 minutes pour que les grains de couscous absorbent l'eau ajoutée.

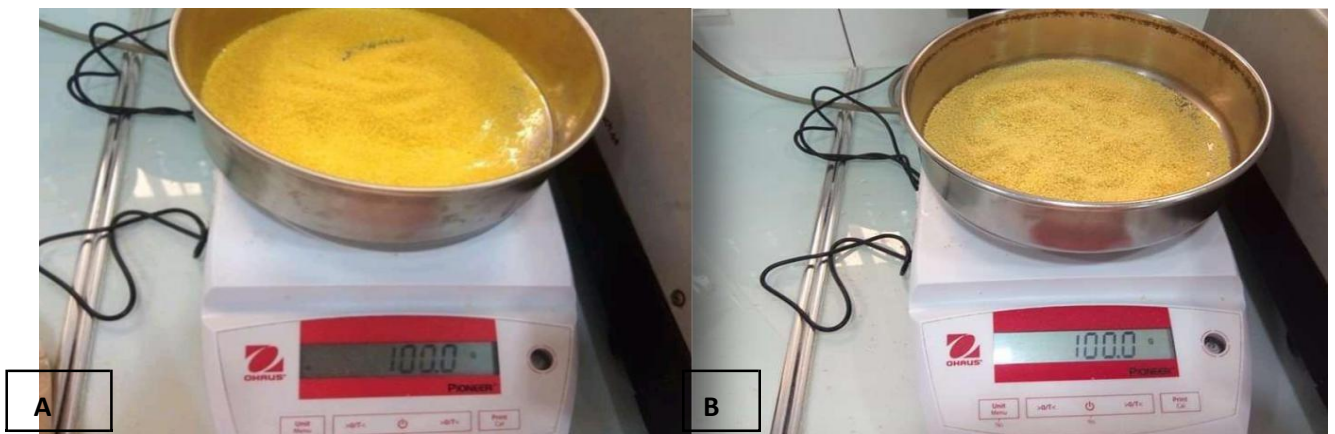


Figure 26 : 100 g du couscous de maïs (A) et 100g et de blé dur(B).

1er évaporation : faire cuire le couscous à la vapeur pendant 15 minutes.



Figure 27 : évaporation du couscous.

2ème mouillage : arroser progressivement le couscous d'une certaine quantité d'eau.

- **2ème évaporation** : faire cuire une deuxième fois à la vapeur pendant 15 minutes.
- On pèse le couscous après chaque étape de préparation.

6. Qualité organoleptique des couscous cuits (test de dégustation)

Le consommateur désire des couscous qui correspondent à son goût et qui lui procurent des satisfactions sensorielles et psychosensorielles.

La qualité culinaire (tenue à la cuisson, couleur, collant et fermeté) des couscous est évaluée par notation décrite par la norme **AFNOR NF V 09-014**. Les sujets doivent exprimer leurs avis concernant les critères de l'échantillon sur une échelle de cotation à cinq points. Les critères choisis sont : la texture, la couleur, le goût, l'odeur, l'aspect.

Le test d'acceptabilité de couscous a été réalisé au niveau de laboratoire de SOSEMIE, les dégustateurs étaient de 10 (âge entre 27ans et 45ans). Les essais de dégustation se font sur du couscous cuit à la vapeur mais sans sauce.

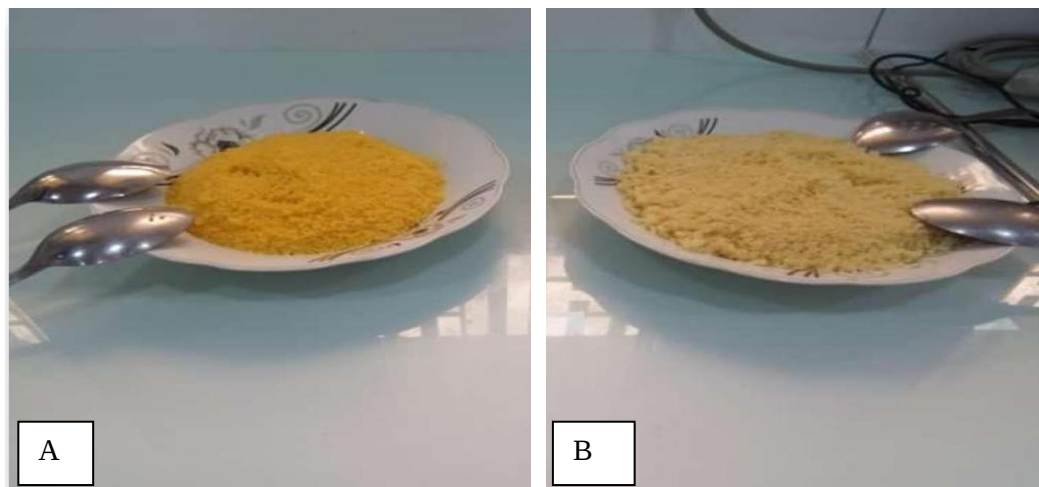


Figure 29 : Présentation des échantillons de couscous de maïs (A) et de blé dur(B) pour la dégustation

Fiche de dégustation

Produits : couscous

Composition : A (couscous 100% Maïs), B (couscous 100% Blé dur)

Date : 16.06.2020

Nom : Abdesselam Prénom : Hana

Sexe : féminin Age : 26 ans

échantillon	Caractéristique	Désagréable	Acceptable	Agréable
CA	Odeur			X
CB	Odeur		X	

échantillon	Caractéristique	Inacceptable	Bon	Très bon
CA	Goût			X
CB	Goût			X

échantillon	Caractéristique	Gros	Moyen	Fin
CA	Texture			X
CB	Texture		X	

échantillon	Caractéristique	Blanc	Brun	Jaune
CA	Couleur			X
CB	Couleur	X		

échantillon	Caractéristique	Lisse	Granuleux
CA	Aspect	X	
CB	Aspect		X

Figure 30 : la fiche de dégustation.

Chapitre IV:
Résultats et
Discussion

Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Test de cuisson :

Le test de cuisson est un critère important dans l'appréciation de la qualité culinaire du couscous, des valeurs élevées du gonflement du couscous renseignent sur la haute qualité de celui-ci (**Ouanene al ,2006**).

Nous remarquons dans le tableau (10) une augmentation marquante de poids de couscous sans gluten (CA). Il est passé de 100g avant la cuisson à 147g après le premier étuvage et puis à 184g après avoir subi le deuxième étuvage.

La même constatation est faite pour le couscous témoin (CB), son poids a atteint 145g lors du premier étuvage, puis arrive à 255 g après la cuisson.

Ces valeurs de gonflement en masse indiquent une bonne qualité culinaire pour les couscous analysés. En effet, selon (**Guezlane, 1993**). Un bon couscous doit absorber environ deux fois son poids d'eau pendant la cuisson et conserver une certaine fermeté et viscoélasticité et ses grains doivent rester bien individualisés sans se déliter, ni se coller entre eux.

Tableau 10: test de cuisson des couscous

Echantillon	Temps de cuisson (mn)	Poids initial (g)	Poids final (g)	Gonflement
CA	30	100	184	Bon
CB	30	100	255	Très bon

CA : couscous de maïs

CB : couscous de blé dur

2 .Test de dégustation

Les résultats de l'appréciation de l'odeur sont regroupés dans le tableau (11).

Tableau 11 : Odeur de couscous.

Echantillon	Caractéristique	Désagréable	Acceptable	Agréable
CA	Odeur		3	7
CB	Odeur		5	5

Aucun des deux échantillons présentés n'avait une odeur désagréable, Les échantillons CA et CB ont une odeur entre l'acceptable et l'agréable Les jurys de dégustation ont classé le CA comme le couscous qui a une odeur agréable caractéristique avec un nombre de 7 sur 10 dégustateurs et le CB vient en deuxième position avec un nombre de 5 dégustateurs sur 10.

Tableau 12: Goût de couscous

échantillon	Caractéristique	Inacceptable	Bon	Très bon
CA	Goût		4	6
CB	Goût		3	7

D'après ces résultats le gout de couscous de maïs (CA) a été bien accepté par les jurys, et la majorité a estimé qu'il est très bon avec un arôme caractéristique, ces résultats sont comparables à ceux notés pour le couscous témoin (CB).

Tableau 13 : Couleur des couscous.

Echantillon	Caractéristique	Blanc	Brun	Jaune
CA	Couleur			10
CB	Couleur	7	3	

La couleur du couscous de blé peut être influencée par le type de la céréale utilisée, la teneur en protéines, (plus la teneur en protéines est élevée plus la couleur jaunâtre est remarquable),

Le CA a été classé comme couscous de couleur jaune par l'ensemble des jurys, cette supériorité de couleur jaunâtre est probablement causée par la forte coloration des pigments de maïs, le CB est classé comme couscous blanc avec un nombre de 7 sur 10.

Tableau 14 : Texture des couscous.

échantillon	Caractéristique	Gros	Moyen	Fin
CA	Texture		1	9
CB	Texture	2	8	

Les résultats de la classification des couscous selon leurs textures ont démontré que le CA est le couscous le plus fin selon un nombre de dégustateurs de 9 sur 10 e, le CB a été jugé comme couscous moyen avec un nombre de 8 dégustateurs sur 10 personnes, cependant la taille des particules des deux couscous présente une bonne homogénéité

Tableau 15: Aspect du couscous

Echantillon	Caractéristique	Lisse	Rugueux
CA	Aspect	3	7
CB	Aspect	8	2

8/10 jurys ont estimé que les grains de couscous de blé (CB) présentent des surfaces beaucoup lisses et uniformes avec une prédominance des formes arrondies alors que 7/10 des jurys ont jugé que le couscous de maïs présente une surface plus rugueuse que le témoin.

Conclusion

L'objectif de notre étude est l'élaboration d'un couscous pour les intolérants au gluten à base de maïs, caractérisé par une valeur nutritionnelle très élevée et l'absence du gluten dans sa composition biochimique. D'après les recherches bibliographiques nous avons conclu que :

La semoule de maïs est considérée comme une semoule très riche en glucides, protéines, fibres et sels minéraux.

D'après les résultats obtenus , le couscous de maïs présente une bonne qualité culinaire avec une bonne prise en masse par rapport au couscous de blé , une couleur, une odeur et un goût caractéristiques qui ont été bien appréciées par les jurys de dégustation.

De ce fait, le maïs présente un bon potentiel pour la fabrication de couscous pour les malades cœliaques et des recherches plus approfondies devront être préconisées en vue de focaliser et donner plus d'importance à cette céréale pour la préparation de produits alimentaires diététiques.

Les produits alimentaires destinés aux malades cœliaques sont coûteux et ne sont pas à la portée de tous. C'est pourquoi nous souhaitons que le couscous de maïs soit disponible pour une large tranche de personnes en le fabriquant par les lignes industrielles.

Enfin, il est important de souligner que la maladie cœliaque étant connue incurable, il demeure utile et nécessaire à notre humble avis que l'état algérien doit prendre en charge la régulation, la disponibilité, la distribution et le contrôle de la vente de tous les produits recommandés pour ces malades.

***Références
bibliographiques***

Les Références bibliographiques

1. **Abecassis, J. (1987).** La mouture d'essai du blé dur : Recherche et applications industrielles. Mémoire d'ingénieur. Ed. Ecole nationale supérieure de meunerie et des industries céréalières.158p.
2. **Afrem. (2005).**Afremclextral. Du blé dur. aux pâtes. Version A. 8.1.8p.
3. **AFNOR (1991).** Contrôle de la qualité des produits alimentaire : Céréales et produits céréaliers, AFNOR / DGCCR, 3ème ed, Paris, 360p.
4. **Amira, Dj., Fadel, M. (2013).** La Sélection Variétale du Blé Dur à Partir des Paramètres Technologiques. Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 De Guelma.7p.
5. **Aluka K., Miche J.C. et Faure J., (1985).** Conditions d'une fabrication mécanique du Couscous de maïs en Afrique de l'Ouest, Ind. Agric. Alim.P :448-451.
6. **Anonyme, 2004.** Etude de positionnement stratégique de la branche « Pâtes alimentaires et couscous ». Coordination Européenne des Producteurs Indépendants (C.E.P.I), cahier du C.E.P.I. N°23.
7. **Baudricourt, A.G. Hédin, L. (1988).**L'homme et les plantes cultivées, éd A. M Métailié, 271p.
8. **Barre, A., Déplanque, A.,Simplicien, M., Bennoist, H., Rougé, P. (2017).**Sécurité du maïs pour les patients souffrant de maladie coeliaque. USR pharamadev, universalité Paul-Sabatier, IDR, Toulouse, France1p.
9. **Benatallah, I., Agli, A., Zidoune, M.N. (2004).** La maladie coeliaque : cas recensés de 1998 à2003 et diététique associée à Jijel, Batna Et Khanchela. Colloque AdELF-EPIBIO: L'épidémiologie et la prise de décision publique, santé publique & Science Sociales (10), Oron : 88-89p.
10. **Benatallah, I. Agli, A., Zidoune, M.N. (2008).** La maladie coeliaque Dans l'Est algérien (Guelma et Mila): prévalence et aliments souhaités par les malades. Livre des procceeding, séminaires SIBA, Alger, Algérie.
11. **Bencharif, A., Chalet, C., Chehat, F., Kaci, M., Sahli, Z. (1998).**La filière blé dur en Algérie (le blé, la semoule, le pain). Ed KARTHALA 21-24, boulevard Arago 750 13 Paris.
12. **Benetrix, F. (2006).**le maïs en alimentation humaine, industries des céréales 148, juin-juillet (2006),18p.

13. **Boudreau, A., Matsuo R., Laing, W. (1992).** L'industrie des pâtes alimentaires, pp: 193- 223. In « Le blé. Eléments fondamentaux et transformation ». Coordonnateurs : 47) Boudreau A. et Menard G., Ed. Les presses de l'Université Laval, Canada. 439 p.
14. **Boudreau, A., Menard, G. (1992).** Le blé Eléments fondamentaux et transformation Coordonnateurs, ed : Les presses de l'Université Laval, Canada, 439p.
15. **Boukar, I. (2017).** Comportement De Quelques Varietes Importees Du Mais Vis A Vis Des Conditions Du Milieu De La Region D'adrar. Mémoire de fin d'étude. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (S.N.V). 13 p.
16. **Boulai, H., Zaghouane, O., El mourid, M., Rezgui, S. (2007).** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie). Coédition ITGC/INRA/ICARDA. 176P.
17. **Bouquelet, S. (2016).** Protéines alimentaires. [[Http://biochim-agro.univ-lille1.fr/protéines/Co/000_Proteines_web.html](http://biochim-agro.univ-lille1.fr/protéines/Co/000_Proteines_web.html)] (Consulté le04/12/2018).
18. **Bower, S.L., Sharrett, M.K., Plogsted, S. (2007).**celiac disease: a guide to living with gluten intolerance, Edition Demos Medial Publishing, USA, 160p.
19. **Boyacioglu, M., Dappolonia, B. (1994).**Characterization and utilization of durum wheat for bread making. I. Comparison of chemical, rheological and basing properties between bread wheat flour and durum wheat flour. Céréale chemistry. Vol 71, n 1. 21-28p.
20. **Brink, M., Belay, G. (2006).** Ressources végétales de l'Afrique. Tropical 1 : céréales et légumes secs. Editeur, La dernière page, Pays-Bas.
21. **Carraretto, M. 2005.** « Histoire de maïs d'une divinité Amérindienne à ses avatars transgéniques ». C.T.H.S. 56p.
22. **Catassi, C., Fasano, A. (2008).** Coeliac disease, in: gluten free cereals – products and beverages. ARENDT E. ET DAL BELLO F., Food Science and Technology.1-27p.
23. **Chemache, L., Kehal F., Namoune H., Chaalal, M., Gagaoua, M. (2018).**Couscous: Ethnic making and consumption patterns in the Northeast of Algeria.212-216p.
24. **Chretien, P. (2011).** Auto- anticorps dans la maladie cœliaque. EMC - Biologie médicale 1-8p.
25. **CIC, (2009).** Marché des céréales, Conseil international descéréales.
26. **Codex Alimentarius 178-1991.** Norme codex pour la semoule et la farine de blédur.
27. **Codex alimentarius.** Norme codex 202-1995.Norme codex pour le couscous. P:1-3.

28. **Codex stand 178-1991(Rév-1-1995)** Norme codex pour la semoule et la farine de blé. 1-4 p.
29. **Codex stand 202-1995.** Norme codex pour le couscous. 1p.
30. **Dagher, S.M. (1991).** Traditional food in the Near East FAO food and nutrition paper 50, Rome, 161p.
31. **Dahoun-lefkir, S. (2005).** Influence des conditions de l'hydratation sur la qualité technologique du couscous. Mémoire magister I NA, El-Harrach, Alger .100p.
32. **DE man, W. (2015).** CHARTRON S. le riz, cette céréale méconnue, cahiers de nutrition et diététique.
33. **Debbouz A. et Donnelly B.J., (1996).** Process effect on couscous quality. Engineering and processing Cereal hem. Vol. 73. 668-671p.
34. **Debbouz A., Dick, J.W., et Donnelly, B.J., (1994).** Influence of raw material on couscous quality. Céréale Foods World. Vol. 39. 231-236p.
35. **Derouiche, M. (2003).** Couscous : enquête de consommation à Constantine, fabrication artisanale et qualité. Mémoire de Magister. Université Mentouri Constantine, Algérie.125p.
36. **Desousa, A. (2001).** Le couscous. Tradition et Modernité, Agro-Ligne. Vol. 16. 32-35p.
37. **Djairene, K., (2012).** Caractérisation nutritionnelles et organoleptiques d'un couscous d'orge enrichi par la chlorelle et son effet sur des troubles fonctionnelles digestifs, thèse de master, Nutrition et contrôle des aliments, université Saad Dahlab de Blida.95p.
38. **Dore, C., Varoquaux, F. (2006).** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Institut national de la recherche Agronomique, 812p.
39. **Doumandji, A., Doumandji, B., Doumandji, S. (2003)** .Technologie de transformation de blé et problèmes dus aux stocks, ed : ophice des publications universitaires. Alger.65p
40. **Elsevier, M. (2010).** Maladie coeliaque: dépistage de masse ou diagnostic dans des populations ciblées « georgia Malamut, CHristophe cellier service d'hépatogastroentérologie, hôpital européen reges Pampidou.
41. **FAO, INPHO. (1993).** La Maïs Dans la nutrition humaine. Collection FAO : alimentation et nutrition NO25.FAO, Rome, Italie, ISBN92-5-203013-1.
42. **Feillet, P. (2000).** Le grain de blé, composition et utilisation, INRA, Paris, 308- 303P.

43. **Franconie, H., Chastanet, M et Sigaut, F., (2010).** Couscous, boulgour et polenta. Transformer et consommer les céréales dans le monde. Ed : Karthala, Paris
44. **Garnier- Lengline, H., Schmitz, J. (2013).** Régime sans gluten chez l'enfant. EMC-pédiatrie, vol 8(3), page 1-9 p.
45. **Gay, J.P. (1999),** Maïs, mythe et réalit. Éd. Atlantica, (1999),268p.
46. **Godon B., et Loisel W., 1997 :** guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Techniques et documentation. E. d. Lavoisier, paris, 749p.
47. **Godon, B. (1986).** La composition physicochimique des céréales : un atout pour leur utilisation. In : Utilisation industrielle non alimentaire du blé et du maïs. Symposium International, ed. APRIA, Paris, p5-34.

48. **Godon, B. Willim, C. (1988).**Les industries de première transformation des céréales, 561p.
49. **Guarda, G., Padovan S. et Delogu G., (2004).** Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. Eur. J. Agron. Vol 21. P : 181–192 p.
50. **Guezlane L., (1993).** Mise au point de méthodes de caractérisation et étude des modifications physico-chimiques sous l'effet des traitements hydrothermiques en vue d'optimiser la qualité du couscous de blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat. INA, El Harrach.
51. **Guezlane, L.(1993),** Mise au point de méthodes de caractérisation et étude de modifications physico-chimiques sur l'effet de traitement hydro thermique en vue d'optimiser la qualité du couscous de blé dur, Thèse de Doctorat d'Etat, INA. El Harrach, Alger, 189p.
52. **Guezlane L., Selselat-Attou G. et Senator., A. (1986).** Etude comparée du couscous de fabrication industrielle et artisanale. Industrie des Céréales. Vol. 43. P : 25-29p.
53. **Guezlane, L., Selselat-Attou, G., Senator, A., (1986).** Etude comparée du couscous de fabrication industrielle et artisanale. Industrie des Céréales. Vol. 43. P : 25-29p.
54. **Hamama. A., Bayi. M. (1991).** Composition and microbiological profile of two Moroccan traditional dairy products: raïb and jben. Int J Dairy Technol; 44(4):118e20p.
55. **Hentschel V., Kranl K., Hollmann J., Lindhauer M.G., Bohmand V. et Bitsch R. (2002).** Spectrophotometric determination of yellow pigment content and evaluation of

- carotenoids by high-performance liquid chromatography in durum wheat grain
.Journal Agriculture ET Food Chem. Vol. 50. 6663–6668 p.
56. **Idir D., (2000).** Influence du taux d'extraction et de la granulométrie de semoule sur la qualité technologique du couscous de blé dur. Mémoire de Magister. INA, El-Harrach,
57. **ITGC. (2014).** Bulletin des grandes cultures N° 1 - m a r s 2 0 14.
58. **Kaup, S.M., Walker, C.E., (1986).** Couscous in, North Africa. Cereal Foods World, Vol. 31. 179-182p.
59. **Kellou, R. (2008).** Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle compétitive qualité-méditerranéen le cas coopérative sud céréales, groupe coopératif occitan et Audecoop, thèse de Master en science LAAMM. Université de Montpellier. 160p.
60. **Kellou, R. (2008).** Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréales françaises dans le cadre de pôle de compétitivité qualité-méditerranée, le cas des coopératives sud céréales, groupe coopératif occitan et Audecoop, Master of Science, n°93, 169p.
61. **Lepage, M. et Sims R.P.A., (1968).** Carotenoids of wheat flour: their identification and composition. Cereal chem. Vol 45. 600–604 p.
62. **Madani, M. (2009).** Qualité technologique de quelques céréales (blé tendre, blé dur, orge et triticales) C /S du laboratoire de technologie de L'ITGC, 20p.
63. **Matuchansky, C., Rousseau, S., Et Morin, M. C., (2004).** Maladie cœliaque de l'adulte : Actualités du régime sans gluten. Cah Nutr Diet, 39 :311-317p.
65. **Maybelline, E., Abdou, M. (2012).** Production et transformation du maïs. La collection Pro- Agro est une coédition d'Ingénieurs Sans Frontières Cameroun (ISF Cameroun) et du Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) CTA : 978-92-9081-494-8. Page 5-8 p.
66. **Namoune H., Kezih R., Feliachi K., Guerfi N. et Hamza N. (2004).** الدهون خلال عملية أثر استعمال . مصر بعض الكسكسي المؤتمر لرابع للعلوم الزراعية. أسبوط الطهي على نوعية
67. **Namous, H. (2013).** Formulation d'une farine-biscuit de sevrage sans gluten à base de Riz, Maïs et Pois Chiche. Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Alimentaires Université Constantine 1-5 p.

68. **Nyabyenda. (1995).** Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude. Les presses agronomiques de Gembloux Belgique, ISBN2-87016-072-0.145-168p.
69. **OAIC.** <http://www.djamel-belaid.fr/>. Consulté le 05 Mai2019.
70. **Olives Jhon, P., wber, A. (2013).** Jean-Pierre Olives la maladie coeliaque J .-p. Olives (Maladie coeliaque) :nouvelles perspectives.
71. **Olives, Jp., (2011).** Faut-il faire un dépistage systématique de la maladie coeliaque dans toute la population, 2011.
72. **Ouanene, G., Cup B., Abecassis J., Yesli A., Ouanane S.M., (2006).** Effetects of physic chemical characteristics and lipid distribution in algerien durum wheat semolinas on the technological quality of couscous. Cereal chem. Vol. 83. P: 377-384
73. **.Paul, A. F., Houssu. (2007).**Segla.W .PADONOU, Mariene C.D.N.VODOUHE, Hermine.A.F.HOUSSU,Segla.W..PADONOU,Mariene C.D.N.VODOUHE,METOHOUE
74. **Projet. (2010).** pilote de valorisation des céréales locales en panification, soumis pour financement au FNRAA, République du Sénégal, décembre. 1-41p.
75. **Ristanovic, D. (2001).** Le maïs : REMAECKERS, R.H. agriculture en Afrique tropicale, DGCI.
76. **Saint-Clair, p. M. (1989).** Les cultures importantes de l'espace tropical. Tome II : les cultures vivrières. Québec, canada, les entreprises Papyrus. 1-60p.
77. **Salmi, M., Merbah, S. (2015).** Etude de la qualité globale des semoules du commerce algérien. Mémoire d'ingéniorat. Université UMMTO, Tizi-Ouzou. 87P.
78. **Schmitz, J., Garnier-Lengline, H. (2008).** Diagnostic de la maladie cœliaque en 2008. Archives de pédiatrie, 15 : 456-461p.
79. **Seiler, W. (1982).** Couscous. Molini Ital. Vol. 33. 417-421p.
80. **Senator A., (1983).** Contribution à l'étude de la valeur couscoussière. Comparaison entre deux processus de fabrication. Mémoire d'Ingénieur. INA, El-Harrach, Alger.

- 84. Shewry, P.R., Tatham, A.S., Lazzeri, P. (1997).** Biotechnology, of Wheat, Quality's
Sci. food. Agric 3(4), 397-406 p.
- 85. Sissons, M., Abecassis, J., Marchylo, B., Carcea, M. (2012).** Durum wheat
chemistry and technology. Mike Sissons, Montpellier ,300p.
- 86. Tabbakh, E. (1981).** L'intolérance primitive au gluten chez l'enfant Algérien (A propos
de 350 cas). Thèse de professeur en pédiatrie, université d'Alger 382p.
- 87. Trono D., Pastore D. et Difonzo N., (1999).** Carotenoid Dependent Inhibition of Durum
Wheat Lipoxygenase. Journal of Cereal Science. Vol. 29. 99-102p.
- 88. Waniska, M., R.D., Rooney, L.W., Miller, F.R. (1988).** Couscous quality of sorghum
with different kernel characteristics. Céréale Science. Vol: 7. 183-193p.
- 89. Williams, P.C. (1985).** Survey of wheat flours used in the Near East. Rachis. Vol. 4.
17-20p.
- 90. Yousfi, L. (2002).** Influence des conditions de fabrication et des modes de préparation
sur la qualité du couscous industriel et artisanal. Thèse de magister. Université Mentouri
Constantine, Algérie. 140p.
- 91. www.algerie360.com**

Annexe

Annexe

Annexe : Matériels biologiques



Figure 31 : semoule moyenne de blé dur



Figure 32 : Sel “OASISEL”

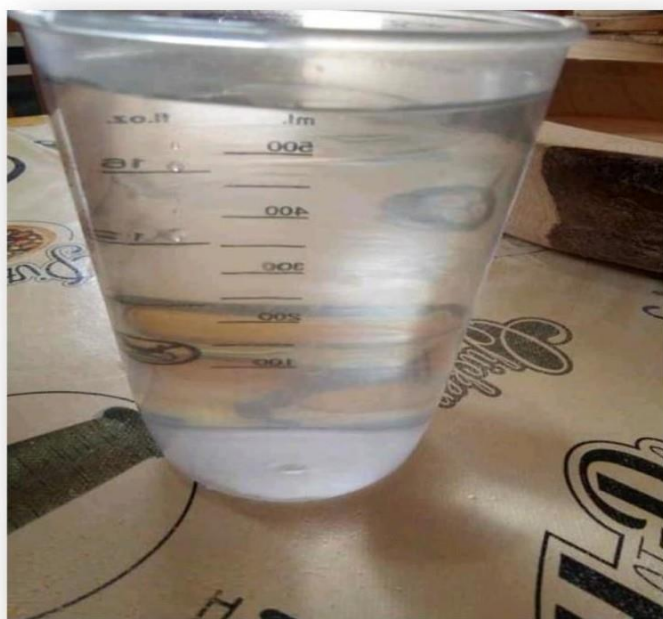


Figure 33 : eau potable



Figure 34 : Semoule de maïs “LAMOCORN”