

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB – BLIDA

FACULTE DES SCIENCES AGRO -VETERINAIRES ET BIOLOGIQUES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Mémoire de Fin d'Étude en vue de l'obtention Du diplôme de MASTER en
Sciences de la Nature et de la Vie

Spécialité : Science Alimentaire

THEME

**CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET
ORGANOLEPTIQUES DE DEUX TYPES DE COUSCOUS DE BLE DUR
ET D'ORGE DE FABRICATION ARTISANAL ET INDUSTRIEL**

Présenté par :

SAADI ASMA

Devant le jury :

M. HADJ SADOK T.	MCB	USDB	Président
Mme. ACHE HEB H.	MCB	USDB	Promotrice
Mme. ABDELLAOUI Z.	MAA	USDB	Examinatrice
Mme. OUTALEB T.	MAB	USDB	Examinatrice

ANNEE UNIVERSITAIRE 2012-2013

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je rends grâce à **ALLAH** pour m'avoir guidé et honoré par la lumière de la compréhension, pour m'avoir fait goûter la connaissance des sciences et de m'avoir donné le courage et la volonté de mener à bien ce modeste travail.

J'exprime ma profonde gratitude à ma promotrice

M^{me} **ACHHEB H.** pour avoir bien voulu me guider dans ce travail jusqu'à la fin.

Mes Vifs remerciements vont aux membres de jury qui ont bien voulu accepter de juger ce travail.

M **HADJ SADDOK** pour le grand honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de soutenance;

M^{me} **ABDELLAOUI Z.** et M^{me} **OUTALEB T.** qui ont aimablement accepté d'examiner ce travail.

Mes sincères remerciements à M^{me} **HIND** responsable du Laboratoire de l'unité « Couscous MAMA » pour son aide précieux, ainsi qu'à tout le personnel de laboratoire notamment **MANEL** et **AMINA**

Enfin, je remercie tous ceux qui de près ou de loin, chacun à sa manière m'a aidé à l'élaboration de ce modeste travail.

♥ **ASMA** ♥

DEDICACE

Avec l'aide de dieu, j'ai peu réalisé ce modeste travail que je dédie :

♥ Aux plus chère trésor de ma vie mes parentes qui ont été toujours avec moi et qui m'ont donné le courage pour suivre en avant.

♥ A ma sœur **HAMIDA**, son mari et leurs adorables enfants :

♥ **DOUAA** et **ZIED** ♥.

♥ A ma charmante sœur **MERYOUMA**.

♥ A mes très chers frères.

♥ A toute ma famille et toutes mes amies surtout **HADJI IMENE**.

♥ A toute la promotion Sciences Alimentaires 2012.

♥ A tous ce que j'aime et que je respecte.

♥ *ASMA* ♥

Sommaire

Introduction.....	01
-------------------	----

Partie bibliographique

Chapitre I : Le blé dur et l'orge

I.1. Généralité sur les céréales.....	03
I.2. Le grain de blé.....	04
I.2.1. Blé tendre.....	04
I.2.2. blé dur.....	04
I.2.2.1. Structure du blé dur.....	05
I.2.2.2. Composition biochimique des différentes parties du grain de blé...07	
I.2.2.3. Utilisation du blé dur.....	07
I.2.2.4. Appréciation des blés durs.....	08
I.3. Le grain d'orge.....	09
I.3.1. Structure	09
I.3.2. Utilisation d'orge.....	11
I.3.3. Valeur alimentaire.....	11
I.4. Comparaison de la composition biochimiques du blé dur et de l'orge.....	11

Chapitre II : La première transformation du blé dur

II.1. Objectif et procédés.....	18
II.1.1. Le pré nettoyage.....	18
II.1.2. Le nettoyage.....	19
II.1.3. Préparation du blé à la mouture.....	19
II.1.4. La mouture.....	20
II.2. Procédé de la mouture d'orge.....	21
II.3. La semoule.....	22
II.3.1. Classification des semoules.....	22
II.3.2. La qualité de la semoule.....	22

Chapitre III : Le couscous

III.1. Un peu d'histoire	24
III.2. Définition.....	24
III.3. Fabrication du couscous	25
III.3.1. Le procédé de fabrication du couscous artisanal.....	25
III.3.2. Technologie de fabrication du couscous industriel.....	26
III.4. Composition biochimique du couscous.....	30

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1. Objectif du travail.....	31
I.2. Matériel végétal.....	31
I.3. Echantillonnage.....	31
I.4. Analyses physico-chimique.....	32
I.4.1. Analyses des grains (blé, orge).....	32
I.4.1.1. Masse à hectolitres.....	32
I.4.1.2. Poids de milles grains (PMG).....	32
I.4.1.3. La teneur en eau.....	33
I.4.1.4. Le taux de cendre.....	34
I.4.1.5. La teneur en protéine total.....	34
I.4.2. Analyses des semoules.....	35
I.4.2.1. La granulométrie.....	35
I.4.2.2. La teneur en eau.....	36
I.4.2.3. Le taux de cendre.....	36
I.4.2.4. La teneur en protéine totales.....	36
I.4.3. Analyses de produit fini (couscous)	37
I.4.3.1. Le procédé de fabrication du couscous artisanal.....	37
I.4.3.2. Le procédé de fabrication du couscous industriel.....	38
I.4.3.3. La granulométrie.....	39
I.4.3.4. La teneur en eau.....	39
I.4.3.5. Le taux de cendre.....	39
I.4.3.6. La teneur en protéine totales.....	39
I.5. Analyses technologiques.....	40
I.5.1. Analyses des semoules.....	40
I.5.1.1. La teneur en gluten	40
I.5.2. Analyses de produit fini.....	42
I.5.2.1. Le gonflement à froid et à chaud.....	42
I.5.2.2. Prise en masse du couscous cuit (IPMT).....	42
I.5.2.3. La délitescence.....	43
I.5.2.4. Test de cuisson.....	43
I.6. Analyses microbiologiques.....	44
I.6.1. Recherche et dénombrement des levures et moisissures.....	45
I.6.2. Recherche des spores de <i>Clostridium Sulfito-Réducteur</i>	47
I.7. Analyses organoleptiques.....	50

Chapitre II : Résultats et discussions

II.1. Analyses physico-chimiques.....	51
II.1.1. Analyses des grains (blé, orge).....	51
II.1.1.1. Masse à hectolitres.....	51
II.1.1.2. Poids de milles grains (PMG).....	51
II.1.1.3. La teneur en eau.....	52
II.1.1.4. Le taux de cendre.....	52

II.1.1.5. La teneur en protéine total.....	53
II.1.2. Analyses des semoules.....	53
II.1.2.1. La granulométrie.....	53
II.1.2.2. La teneur en eau.....	54
II.1.2.3. Le taux de cendre.....	55
II.1.2.4. La teneur en protéine totales.....	55
II.1.3. Analyses de produit fini (couscous)	56
II.1.3.1. La granulométrie.....	56
II.1.3.2. La teneur en eau.....	57
II.1.3.3. Le taux de cendre.....	57
II.1.3.4. La teneur en protéine totales.....	58
II.2. Analyses technologiques.....	59
II.2.1. Analyses des semoules.....	59
II.2.1.1. La teneur en gluten	59
II.2.2. Analyses de produit fini.....	60
II.2.2.1. Le gonflement à froid et à chaud.....	60
II.2.2.2. Prise en masse du couscous cuit (IPMT).....	62
II.2.2.3. La délitescence.....	62
II.2.2.4. Test de cuisson.....	64
II.3. Analyses microbiologiques.....	65
II.4. Analyses organoleptiques du couscous cuit.....	66
Discussion générale.....	68
Conclusion générale.....	72

Référence bibliographique

Annexes

Liste des tableaux

Tableau n°1	<i>Composition chimique des différentes parties du grain de blé...07</i>
Tableau n°2	<i>La taille des grains du blé et de l'orge.....12</i>
Tableau n°3	<i>Composition chimique des grains de blé et de l'orge..... 12</i>
Tableau n°4	<i>Distribution des protéines de l'endosperme des grains de blé et de l'orge14</i>
Tableau n°5	<i>Composition en acides gras des lipides de blé et de l'orge.....16</i>
Tableau n°6	<i>Teneur moyennes en vitamine16</i>
Tableau n°7	<i>Méthodes de séparation d'impuretés utilisées pour nettoyage..18</i>
Tableau n°8	<i>La composition du couscous comparée a celle de blé dur, orge et des pâtes alimentaire.....30</i>
Tableau n°9	<i>Le poids spécifique du blé dur et de l'orge.....51</i>
Tableau n°10	<i>poids de 1000 grains (PMG) de blé dur et de l'orge.....51</i>
Tableau n°11	<i>La teneur en eau du blé et de l'orge.....52</i>
Tableau n°12	<i>Le taux de cendres du blé et de l'orge.....52</i>
Tableau n°13	<i>La teneur en protéines totales du blé dur et d'orge.....53</i>
Tableau n°14	<i>La teneur en eau de la semoule de blé dur et celle de l'orge....54</i>
Tableau n°15	<i>Le taux de cendre des deux types de semoules.....55</i>
Tableau n°16	<i>Teneur en protéines totales des semoules.....55</i>
Tableau n°17	<i>Teneur en eau des Couscous.....57</i>
Tableau n°18	<i>Le taux de cendre des couscous.....57</i>
Tableau n°19	<i>Teneur en protéines totales des couscous.....58</i>
Tableau n°20	<i>Teneur en gluten de la semoule de blé dur.....59</i>
Tableau n°21	<i>Capacité d'hydratation de la semoule de blé dur.....59</i>
Tableau n°22	<i>Les résultats de prise en masse des couscous.....62</i>
Tableau n°23	<i>Les résultats du test de cuisson des couscous.....64</i>
Tableau n°24	<i>Résultats des analyses microbiologiques des semoules.....65</i>
Tableau n°25	<i>Résultats des analyses microbiologiques des couscous.....65</i>

Liste des figures :

Figure 01	<i>Coupe d'un grain de blé.....</i>	<i>6</i>
Figure 02	<i>Coupe d'un grain.....</i>	<i>10</i>
Figure 03	<i>Coupe transversale des enveloppes, de la couche aleurone et de l'endosperme amylicé d'un grain d'orge.....</i>	<i>10</i>
Figure 04	<i>Diagramme de la chaine de fabrication du couscous artisanal..</i>	<i>37</i>
Figure 05	<i>Diagramme de la chaine de fabrication du couscous industriel.</i>	<i>38</i>
Figure 06	<i>Recherche et dénombrement des levures et moisissures.....</i>	<i>46</i>
Figure 07	<i>Recherche des spores de Clostridium Sulfite-Réducteurs.....</i>	<i>49</i>
Figure 08	<i>Représentation graphique de la Granulométrie des semoules..</i>	<i>53</i>
Figure 09	<i>Représentation graphique de la Granulométrie des couscous..</i>	<i>56</i>
Figure 10	<i>Gonflement à froid des couscous</i>	<i>60</i>
Figure 11	<i>Gonflement à chaud des couscous.....</i>	<i>61</i>
Figure 12	<i>La délitescence du couscous à l'état cru et cuit.....</i>	<i>63</i>
Figure 13	<i>profils sensoriels des couscous.....</i>	<i>66</i>
Figure 14	<i>Aspect des couscous après cuisson.....</i>	<i>67</i>

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation

CH: capacité d'hydratation

GH : gluten humide

GS: gluten sec

H: humidité

IG: indice de gonflement

IPMT: indice de prise en masse par tamisage

ISO: international standard organization

MS: matière sèche

NA: norme algérienne

NF: norme française

PE: prise d'essai

Phl: poids à hectolitre

PMG: poids de milles grains

SOPI: société des pâtes industrielles

Tc: taux de cendre

Tr/mn: tours par minute

RESUME

Ce travail a pour but d'évaluer la qualité physico-chimique de deux couscous artisanal et industriel à base de blé dur, et la caractérisation d'un couscous d'orge avec une évaluation de sa qualité physico-chimique et nutritionnelle.

Les résultats des analyses physicochimiques et technologiques montrent que le couscous industriel à base de blé dur présente une granulométrie homogène, une humidité acceptable (12.52%), un bon gonflement lors de la réhydratation (285%) et surtout il ne colle pas car il se caractérise par une faible délitescence (1.88%), ce qui permet de dire qu'il a une bonne qualité culinaire et proche à celle du couscous artisanal. D'autre part le couscous artisanal d'orge analyse présente une bonne qualité technologique et culinaire (une faible délitescence 1.72% et un bon gonflement 300%).

Les résultats des analyses microbiologiques relèvent que les Couscous de blé dur et de l'orge présentent une qualité hygiénique satisfaisante.

Les analyses organoleptiques montrée une appréciation acceptable par les dégustateurs des couscous.

Mots clés : couscous artisanal, couscous industriel, blé dur, orge, qualité culinaire.

Abstract

The aim of this project is to control the quality physicochemical of the two traditional and industrial couscous which are produced from durum wheat, thus the presentation of the barley's couscous, the evaluation of its quality physicochemical and its nourishing.

The results of the physicochemical and technological analyses show that industrial couscous from durum wheat present an homogeneous granulometry, an accepted humidity (12.52%), a good inflation during the rehydration (285%) and especially it does not stick because it is characterized by weak spalling (1.88%), so its culinary quality is perfect and similar to the quality of artisanal couscous. The barley's couscous has a good quality too (weak spalling 1.88%, and a good inflation 300%)

The results of the microbiological analyses reveal that the types of couscous present a satisfactory hygienic quality.

The organoleptic analysis is a subject of an acceptable appreciation by the testers.

Key words: traditional couscous, industrial couscous, durum wheat, barley, culinary quality.

ملخص

يهدف هذا العمل الى تقييم جودة نوعين من الكسكس تقليدي و صناعي كلاهما من القمح الصلب بالإضافة الى التعريف بالكسكس المصنوع من الشعير و تقدير جودته و قيمته الغذائية

و قد اظهرت التحاليل الفيزيائية-الكيميائية و التكنولوجية ان الكسكس الصناعي يتميز بتجانس حبيباته و بامتصاص جيد للماء حيث بلغ انتفاخه (285%) كما يتميز برطوبة ملائمة (12.52%) و خاصة انه لا يلتصق لأنه يتميز بتفكك منخفض كسكس (1.88%) مما يسمح بالقول انه ذو جودة طبخ عالية و قريبة من جودة الكسكس التقليدي, من جهة اخرى يتميز شعير بجودة طبخ عالية, يتميز بتفكك منخفض % 1.72 و بانتفاخ جيد % 300

نتائج التحاليل الميكروبيولوجية تبين ان الكسكس ذو جودة صحية مرضية

اظهر التحليل الحسي تقييما مقبولا من قبل المتذوقين

الكلمات المفتاح: كسكس تقليدي, كسكس صناعي, قمح صلب, شعير, جودة طبخ

Introduction

Les grains et les graines des céréales constituent depuis toujours la principale ressources alimentaire de l'homme et des animaux domestique et possèdent un pouvoir nutritionnel important (**Molinite et Pfohl-Leszhowicz, 2003**). Les céréales et leurs dérivés constituent notre base alimentaires et contribuent ainsi à la survie de l'humanité, car elles sont faciles à digérer et riches en énergie et en nutriments (**Fourar, 1999**).

Le blé dur constitue le bloc clé dans le modèle de consommation en Algérie. Il contribue à lui seul à plus de la moitié de la ration calorique et protéique de la population (**Guzelane, 1993**). L'orge est la deuxième céréale cultivée juste après le blé et assure environ 45% de la production de céréales, soit plus de 2 millions de tonnes annuellement (**Benabdeljelil et al., 1999**).

L'orge est également une excellente source de fibres solubles, par ailleurs, qui possède diverses vertus médicinales. En Algérie, l'orge est utilisée pour la fabrication du pain en mélange avec la farine de blé ou à la fabrication du couscous sous forme de semoule comme matière première (**Anonyme, 2011**).

La fabrication des pâtes alimentaires au niveau familial est une tradition chez les populations d'Afrique du Nord (**Guezlane et al., 1986**). Le couscous est parmi les plus anciennes pâtes alimentaires développées par les habitants magrébins (**Guezlane, 1998**).

Malgré l'actuelle diversification de l'alimentation, le couscous reste le plat des occasions et des fêtes (**Guezlane et al., 1986**).

Généralement le couscous de fabrication artisanal est plus apprécié par le consommateur que le couscous industriel. Il resterait à identifier quels critères et quels paramètres technologiques conditionnent cette différence d'appréciation. Sur le plan technologique, le couscous artisanal présente une forme et une granulométrie homogène, un bon comportement à la réhydratation à la cuisson qui serait entre autre à l'origine de sa supériorité par rapport au produit industriel. Ainsi donc la mise au point des conditions de fabrication du couscous à l'échelle industrielles est loin d'être parfait.

Notre travail consiste à déterminer quelle est la différence entre un couscous artisanal et un couscous industriel, ainsi la présentation de couscous d'orge et l'évaluation de sa qualité et

sa valeur nutritionnelle. L'objectif est d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques, organoleptiques et microbiologiques de trois variétés couscoussières dont deux artisanaux (couscous de blé dur et couscous d'orge) et un industriel (couscous de blé dur).

Le présent document est structuré en deux parties :

- Partie bibliographique : cette partie est composée de trois chapitres, le premier chapitre contient des généralités sur les céréales, le blé dur et l'orge. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des techniques de transformation du blé dur. Le troisième chapitre présente le couscous et les procédés de fabrication.
- Partie expérimentale : cette partie est composée de deux chapitres. Le premier chapitre présente les outils nécessaires ainsi que les protocoles utilisés pour analyser les différents échantillons de la matière première au produit fini. Le deuxième chapitre montre les différents résultats obtenus de notre étude et analyse ainsi que les discussions.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralités sur les céréales

Les céréales sont des plantes cultivées, pour la plupart de la famille des graminées ou poacées, dont les grains servent à la nourriture de l'homme et des animaux: blé, orge, maïs, seigle, riz, sorgho, etc. Ces grains ne sont pas des graines (sens botanique), mais des fruits secs de type caryopse: les parois du fruit et de la graine sont étroitement associées. La taille des grains de céréales est très variable selon les espèces et variétés (**Siret, 2004**).

Les céréales sont des plantes cultivées principalement pour leurs grains. En effet l'albumen amylicé, réduit en farine, est consommable par l'homme et par les animaux domestiques. Leur consommation est très élevée dans nos régions. Ce sont des produits énergétiques, stockés à long terme, présentant une facilité lors de leur transport.

Les céréales sont déficientes en acides aminés notamment en lysine. De nombreuses recherches ont été réalisées entre autres en génétique dans le but d'améliorer leurs valeurs nutritionnelles en créant de nouvelles variétés. Le blé est l'un des céréales les plus consommées dans le monde (**Calvel, 1984**).

En Algérie, la production nationale de blé oscille entre 2 millions et 2,8 millions de tonnes par an (**Benalia, 2007**).

I.1.1. Classification des céréales

Le grain de céréale est un fruit constituée par :

- **Le germe** : qui donne la plantule.
- **L'amande** : appelée endosperme ou albumen, tissu de stockage qui fournit au germe les nécessaires pour sa croissance.
- **Les enveloppes** : protectrices ou son, composées par la paroi de la graine (testa) et par la paroi du fruit (péricarpe).

On désigne sous l'appellation céréales différentes espèces de plantes appartenant à l'embranchement des **phanérogames** (règne végétal) renfermant des plantes dont les organes reproducteurs sont apparents, au sous-embranchement des **angiospermes** regroupant les plantes à fleurs et à fruits typiques, et aux **monocotylédones** (**Calvel, 1984**).

Familles : Graminées ou Poacées.

Espèces :

- *Blé tendre : Triticum vulgare ou Triticum aestivum*
- *Blé dur : Triticum durum*
- *Mais : Zea mays*
- *Riz : Oryza sativa*
- *Orge : Hordeum vulgare*

I.2. Le grain de blé

Le blé est une céréale qui appartient au genre *Triticum*, c'est une céréale dont le grain est un fruit sec, appelé caryopse constitué d'un grain et de téguments, les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum Aestivum*) et le blé dur (*Triticum Durum*) (**Feillet, 2000**). Le blé comporte 2 variétés :

I.2.1. Le blé tendre : (*Triticum aestivum*)

Le blé tendre, dit faible, mou ou amidonne « SOFT », c'est un type de blé qui désigne plusieurs céréales appartenant au genre *Triticum*, ce sont des plantes annuelles de la famille des graminées ou Poacées, cultivées dans de très nombreux pays. Ce type de blé sert pour la confection des gâteaux, biscuits et autres pâtisseries, puisque son taux de protéines est relativement faible (8 à 10%) et puisqu'il contient peu de gluten (**Anonyme (a), 2008**).

I.2.2. Le blé dur : (*Triticum durum*)

Le blé dur est appelé ainsi en raison de la dureté de son grain il est issu du croisement naturel entre deux espèces sauvages *Aegilops spelta* et *Triticum boeoticum*. C'est une espèce tétraploïde à 28 chromosomes. Le blé dur est la céréale la plus cultivée en Algérie, son grain transformé en semoule est utilisé dans l'alimentation humaine avec une consommation moyenne de 105 Kg/habitant/an (**Zaghouane et al., 2003**).

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

I.2.2.1. Structure du blé dur

Le grain de blé comprend trois parties essentielles qui sont de l'extérieur à l'intérieur : les enveloppes, l'amande et le germe (Figure 1) (**Feillet, 2000**).

❖ Les enveloppes

Elles sont formées de trois groupes de tégument soudés (**Rossel et Hubert, 2002**) :

- **Le péricarpe ou tégument du fruit** : lui-même est composé de trois assises cellulaires : épicarpe, mésocarpe et endocarpe ; il constitue 4% du poids de grain.
- **Le tégument séminal ou testa** : constitué de deux couches cellulaires et représentent 1 à 2% de poids de grain.
- **L'épiderme ou couche à aleurone** (assise protéique) : il est adhérent à l'amande et constitue 7 à 9% du poids de grain.

Les enveloppes représentent en moyenne 13 à 15 % du poids du grain.

Ces enveloppes sont riches en matières minérales et ont également des teneurs assez élevées en matière protéique, corps organiques azotés et matières grasses (**Boudreau et Menard, 1992**).

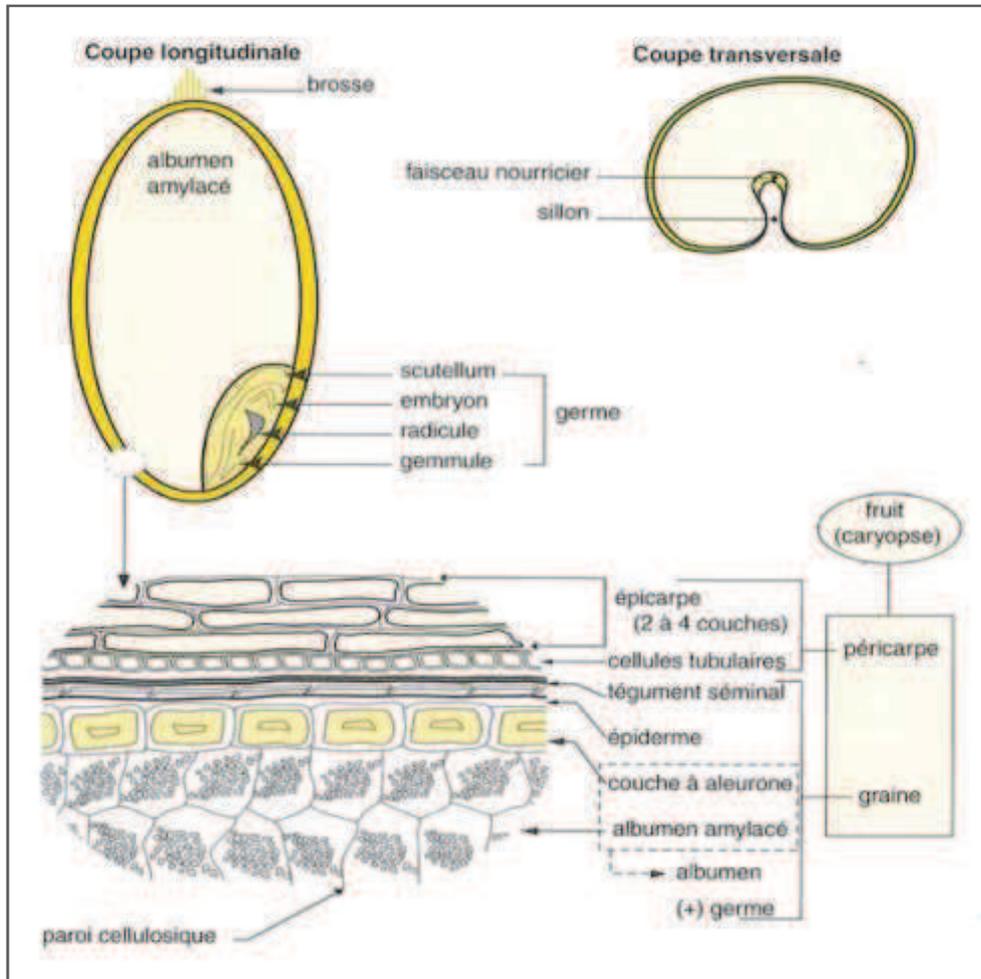
❖ L'amande ou l'albumen (endosperme)

L'albumen représente 82 à 85% du poids total du grain de blé, constitué de cellules à parois celluloseuses minces remplies essentiellement de grains d'amidon entourés par un réseau protéique spécial dénommé **le gluten** (10 à 20%) et de faible proportion d'éléments minéraux (0.3 à 0.6%) et de vitamines

(**Parabhasankar et al., 1999**).

❖ Le germe

Il représente environ 3% du grain de blé, et contient une proportion élevée de lipides, protéines, vitamines, sels minéraux et enzymes. Il est formé de deux parties principales : l'embryon et le scutellum (**Jeantet et al., 2007**).



D'après
Feillet,
(2000)

Figure 1 : coupe d'un grain de blé

I.2.2.2. Composition biochimique des différentes parties du grain de blé

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéine (10 à 15 %) selon les variétés et les conditions de culture et de pentosanes (8 à 10%), les autres constituants pondéralement mineurs ; sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Tableau n°1)

(Feillet, 2000).

Tableau n°1 : composition biochimique des différentes parties du grain d blé

(Exprimée en % de MS)

	<i>Matières azotées protéine</i> N×5.7	<i>Matières minérales</i>	<i>Matières grasses (lipides)</i>	<i>Matières cellulosiques</i>	<i>Pentosanes</i>	<i>Amidon</i>
<i>Péricarpe (4%)</i>	7-8	3-5	1	25-30	35-43	0
<i>Tégument séminal (1%)</i>	15-20	10-15	3-5	30-35	25-30	0
<i>Assise protéique (7- 9%)</i>	30-35	6-15	7-8	6	30-35	10
<i>Endosperme (82-58%)</i>	8-13	0.35-0.6	1	0.3	0.5-3	7-8.5
<i>Germe</i>	35-40	63-65	15	1	20	20
<i>Amande périphérique (10%)</i>	10-15	0.4-1	-	-	-	65-72
<i>Amande centrale (70%)</i>	6-9	0.3-0.4	-	-	-	72-88
<i>Grain de blé entier (100%)</i>	10-14	1.6-2.1	1.5-2.5	2-3	5-8	60-75

(Dubois, 1995)

I.2.2.3. Utilisation du blé dur

Les graines de blé dur, transformé en semoule, sont utilisées pour la fabrication de différentes pâtes alimentaires, du pain, des gâteaux traditionnels et du couscous. Le blé dur est un aliment énergétique riche en protéine et en éléments minéraux (magnésium, phosphore, zinc et potassium). Sa teneur en protéines est plus élevée que celle du blé tendre, les résidus de la mouture des grains (son) sont utilisés dans l'alimentation humaine et animale.

Par ailleurs, les produits du blé (gluten et amidon) sont aussi utilisés dans la fabrication de produits non alimentaires, tels que des produits de beauté, des savons, des produits en papier et de la colle, ect....(Amrani M. 2006).

I.2.2.4. Appréciation des blés durs

❖ la valeur semoulières

La valeur semoulière du blé dur 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 groupes de facteurs :

- ❖ Facteurs liés aux conditions de culture et de récolte.
- ❖ Facteurs qui englobent des caractéristiques qui dépendent d'avantage de la nature du blé dur, exemple : la valeur albumen/enveloppes, la friabilité de l'albumen et la facilité de séparer l'albumen et les enveloppes.
- ❖ Facteurs essentiellement règlementaires, il s'agit de la richesse en matière minérales (Abecassis, 1991).

❖ la valeur pastière

La valeur pastière regroupe deux notions : d'une part l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires (facilité de malaxage, de tréfilage et de séchage) et d'autre part la qualité des produits finis. Pour le consommateur, bien que l'importance qu'il leur accord soit différente selon les pays, deux critères sont essentiels :

- L'aspect de la pâte crus.
- La qualité culinaire (le comportement de pâte au cours de la cuisson).

❖ La valeur couscoussière :

La valeur couscoussière d'une semoule se caractérise par une teneur élevée en protéines (13,5% sur base humidité) et son bon état de conservation par un taux d'acidité conforme aux normes internationales.

Les types de semoules destinées à la fabrication du couscous dont de granulométrie supérieure à celle des pâtes alimentaires (Boudreau et Menard 1992).

I.3. Le grain d'orge

L'orge est une céréale d'hiver annuelle à épi barbu. Elle est cultivée pour son grain (caryopse), utilisé principalement pour l'alimentation animale.

L'orge commune (*Hordeum vulgare*) est une céréale à paille, dont l'épi, inflorescence terminale blanche et barbue, peut être selon les variétés à six rangs ou à deux rangs (Molinacano et al., 2002).

Deux types d'orge sont répandus: l'orge à deux rangs (*Hordeum disticum*) et l'orge à six rangs (*Hordeum hexastichum*). Ce sont les variétés à six rangs qui sont les plus cultivées en Algérie. A cause de leur valeur énergétique qui est plus élevée que celles des variétés à deux rangs.

L'orge appartient au

Famille : *Graminées*.

Genre : *Hordeum*.

I.3.1. Structure

La structure du grain de toutes les céréales est assez semblable. Il est constitué de 3 parties : l'enveloppe, le germe et l'albumen (figure 2). Le grain de l'orge comprend les parties suivantes:

- ❖ **L'enveloppe** : 14 à 16% du grain est constituée de l'extérieur vers l'intérieur par :
 - **Le péricarpe** : paroi de l'ovaire, qui comprend l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe, est un tissu mort (figure 3).
 - **Le tégument** : enveloppe de la graine qui comprend le tégument séminal et la bande hyaline très azotée minéralisée ;
 - **L'assise protéique** : première couche de cellules de l'endosperme.
- ❖ **L'albumen ou amande du grain** : C'est de l'amidon enchâssé du gluten. Le gluten est la structure protéique de l'amande. L'albumen est soudé à l'assise protéique de l'enveloppe et donne la farine (Hamoun et al., 2001).

- ❖ **Le germe** : 2,5 à 3% de grain comprend l'embryon et le cotylédon qui l'entoure. L'embryon est riche en protéines, le cotylédon en lipides.

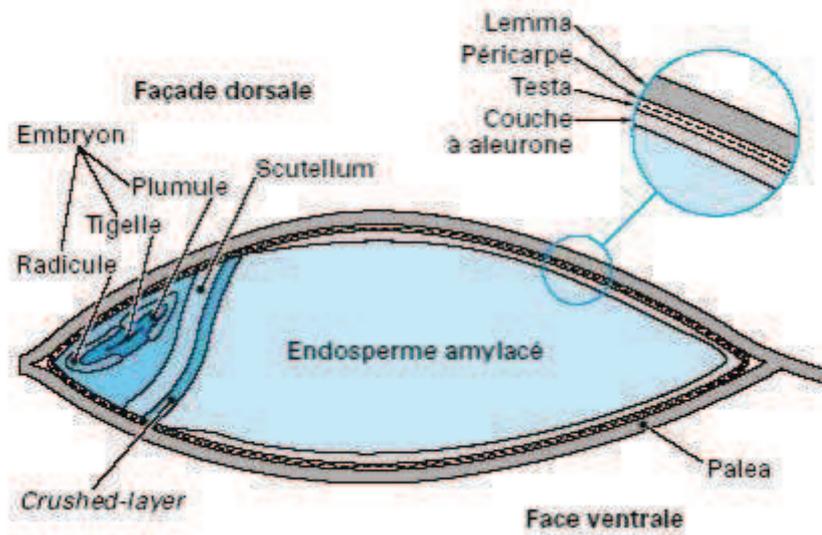


Figure 2 : Coupe longitudinale d'un grain d'orge (Société Malteurop, 2000)

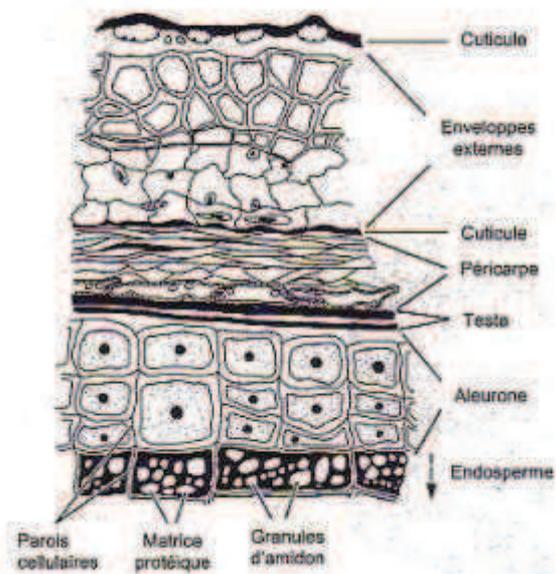


Figure 3 : coupe transversale des enveloppes, de la couche aleurone et de l'endosperme amylicé d'un grain d'orge (Palmer, 1989)

I.3.2. Utilisation d'orge

L'orge est une excellente source de fibres, son grain sert à l'engraissement du bétail. La plante entière encore verte, peut servir de fourrage, ensilé ou pâturé. En Algérie l'orge est associée à l'élevage ovin.

Dans l'alimentation humaine, l'orge est utilisée pour la fabrication de galettes de pain sans levain, ou pour la fabrication du pain en mélange avec la farine de blé. La semoule de l'orge est utilisée pour la fabrication du couscous et elle peut être incorporée aux soupes.

La farine d'orge épaissit les sauces et donne un goût sucré aux aliments. L'orge possède aussi des vertus médicinales (fortifiants, antidiurétique, abaisse le cholestérol....) (**Anonyme, 2010**).

I.3.4. Valeur alimentaire

L'orge est riche en amidon et en protéines, le rendement maximal en protéine se situe entre la floraison et le début du stade laiteux (**Soltner, 1988**).

Les teneurs en matières minérales (phosphore et calcium) diminuent avec l'avancement du stade phénologique. La teneur en cellulose augmente jusqu'au stade épiaison, puis elle baisse à la suite du développement des grains (**Damarquilly, 1978**).

Les grains d'orge sont un aliment qui vaut à quantité pondérale égale environ 90% de la valeur nutritive des grains de maïs.

I.4. Comparaison de la composition biochimique du blé dur et de l'orge

I.4.1. La taille

Les grains de céréales sont de petites dimensions, variables avec l'espèce. La longueur moyenne est de 10 mm, la largeur moyenne de 3 mm et l'épaisseur moyenne de 3 mm

Tableau n°2 : la taille des grains du blé et de l'orge (en millimètres)

Espèces	Longueur	Largeur	Epaisseur

	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
Le blé	5.0	6.5	8.5	1.6	2.9	4.7	1.5	2.3	3.5
L'orge	8.0	10.0	12.0	2.7	4.1	5.0	1.8	3.5	4.5

(Godon et Willm, 1998)

La composition biochimique générale de blé dur et de l'orge est présentée dans le tableau présenté par (Godon et Willm, 1998) :

Tableau n°3 : Composition chimique des grains de blé et de l'orge*(En pourcentage du grain humide)*

<i>Espèces</i>	<i>Eau</i>	<i>Amidon et petits glucides</i>	<i>Cellulose et pentosanes</i>	<i>Protides</i>	<i>Lipides</i>	<i>Minéraux</i>
<i>Le blé</i>	<i>14</i>	<i>65</i>	<i>4.9</i>	<i>12.5</i>	<i>1.7</i>	<i>1.9</i>
<i>L'orge</i>	<i>15</i>	<i>6</i>	<i>10.2</i>	<i>10.0</i>	<i>2.1</i>	<i>2.6</i>

*(Godon et Willm, 1998)***I.4.2. L'eau**

Les grains des céréales sont particulièrement déshydratés. Leur teneur en eau est aux environs de 14% pour le blé et 15% dans le cas de l'orge. La teneur en eau joue un rôle important dans l'altération des semoules. (Godon et Willm, 1998)

I.4.3. Les glucides

Les glucides sont des substances particulièrement énergétiques, et sont nettement majoritaires (plus de 60% de la matière humide ou 80% de la matière sèche). Ils sont principalement constitués par de l'amidon, rassemblé sous forme de granules. La taille de ces petits granules sphériques ou lenticulaire varie de 2 à 40µm (Godon et Willm, 1998).

I.4.3.1. L'amidon

Principal constituant du grain de blé et de l'albumen amylicé (67-68% et 78-82% respectivement), l'amidon se présente sous forme de granules dont le diamètre peut varier de

10 à 40 μm ; distinguant ainsi les gros granules : amidon A (concentrés au cœur de l'amande) des petites granules : amidon B (concentré à la périphérie) (**Jeantet et al., 2007**).

Le grain d'amidon est constitué par un mélange de deux polysaccharides :

- **L'amylose** : polymère linéaire, de faible masse moléculaire, constitué par un enchaînement de D-glucopyranose, liés principalement par des liaisons α (1-4) (**Tara, 2005**).

Le pourcentage de l'amylose est un des facteurs qui conditionnent les propriétés rhéologiques de l'amidon au cours de différentes étapes de transformation (**Neron, 2000**).

- **L'amylopectine** : polymère fortement ramifié constitué d'unités de glucose qui s'associent en chaînes linéaires liées par des liaisons α (1-6) qui confèrent à la molécule une structure arborescente. Ce polymère représente 73% de l'amidon total (**Gevardat de Fombelle, 2003**).

I.4.3.2. Les sucres simples

Un ensemble de composés glucidique de structure est aussi présent dans les grains, sa teneur varie de 2 à 10% selon les espèces. La semoule contient 1 à 2% de saccharose, une petite quantité de maltose, dextrose et dextrines soluble ; la structure de ces sucres favorise la libération très rapide des sucres simples tels que le glucose et le maltose (**Godon, 1991**).

I.4.3.3. La cellulose

La cellulose constitue l'élément majoritaire de la paroi cellulaire. C'est un polymère glucidique, de haut poids moléculaire, constitué en moyenne de 3000 unités de glucose.

C'est le principal polyholoside de structure des végétaux, sa composition semble indépendante de l'origine de la plante, c'est un β -D glucane composé de résidus anhydroglucopyranoses reliés par des liaisons β (1-4). (**Godon et Willm, 1998**)

I.4.4. Les protéines

La teneur en protéines des semoules varie de 9 à 14% selon les conditions de culture de blé, et d'environ de 10% pour le semoule d'orge. Les protéines de la semoule jouent un rôle important parce que c'est à partir de cette fraction que se forme le gluten (**Godon et Willm, 1998**).

Les protéines du blé réparties en quatre classes principales et qui sont selon leurs caractères de solubilité dans l'eau (**Samson M.F. et Desclaux D., 2006**).

Tableau n°4 : Distribution des protéines de l'endosperme des grains de blé et de l'orge (En pourcentage de protéines totales)

Espèces	Albumines	Globulines	Prolamines	Glutelines
Le blé	5 – 10	5 – 10	40 – 50 (Gliadine)	30 -40 (Glutenine)
L'orge	3 – 4 (Leucosine)	10 – 20 (Edestine)	35 – 45 (hordéine)	30 – 40

Les noms entre parenthèses sont appellations spécifiques à l'espèce.

(**Godon et Willm, 1998**)

❖ Les protéines solubles

Egalement appelées protéines cytoplasmiques ou métaboliques, représentent 15 à 20% des protéines totales (**Alais et al., 2003**).

Ce sont des protéines globulaires pauvres en glutamiques et proline, mais riche en acides amines basiques (**Dacosta, 1986**).

➤ **Les albumines** : représentent 5 à 10% des protéines totales du blé et 3 à 4% dans le cas de l'orge (Leucosines), solubles dans l'eau riche en tryptophane. (**GODON et WILLM, 1998**).

Les albumines sont essentiellement concentrées à la périphérie du grain et dans le germe (**FEILLET, 2000**).

➤ **Les globulines** : représentent 5 à 10% des protéines totales du blé et 10 à 20% dans le cas de l'orge (Edestines). Solubles dans les solutions salines. (**Godon et Willm, 1998**).

Elles se concentrent comme les albumines dans les parties périphériques du grain (**Feillet, 2000**).

❖ Les protéines de réserve

Elles représentent 80 à 90% des protéines totales, elles sont constituées de Gliadines et de Gluténines (les premières confèrent à la pâte sa viscosité et son extensibilité, les secondes responsables de la ténacité et de l'élasticité) qui en association avec d'autres constituants

(lipides, glucides, matières minérales) forment le Gluten. Elles sont situées essentiellement dans l'albumen et la couche à aleurone (**Godon et Willm, 1998**).

➤ **Les gliadines** : représentent 40 à 50% des protéines totales du blé, et 35 à 45% des protéines totales de l'orge où elles sont appelées « les hordéines ». Elles sont insoluble dans l'eau mais soluble dans les solutions alcooliques. Elles se concentrent surtout dans l'amande (**Morot-Gaudry, 1997**).

➤ **Les gluténines** : représentent 30 à 40% des protéines totales du blé et 35% à 45% des protéines de l'orge (Gluténines). Elles sont solubles dans les solutions diluées d'acides. On retrouve les gluténines principalement dans l'albumen du grain (**Jeantet et al., 2007**).

I.4.5. Le gluten

Le gluten de blé est un complexe protéique viscoélastique tenace constitué d'un mélange hétérogène de gliadines et de gluténines (75 à 85% de la matière sèche), d'amidon (8 à 18% MS), de sucres réducteurs (1 à 2% MS), de lipides (5 à 10% MS), de pentosanes (2% MS) et de matières minérales (1% MS) (**Feillet, 2000**).

La viscosité et l'extensibilité du gluten peuvent être expliquées par le glissement des molécules les uns sur les autres (**Khelassi et Mekmouche, 2009**).

I.4.6. Les lipides

Les lipides, ou matières grasses, sont peu représentées dans les grains des céréales, environ de 2% pour le blé et l'orge, (**Godon et Willm, 1998**). Ces lipides sont riches en acides gras insaturés comme le montre leur composition figurant sur le tableau n°5.

Tableau n°5 : composition en acides gras des lipides des grains de blé et de l'orge (En pourcentage du total des acides gras)

Espèces	Acide palmitique C16	Acides oléique C18	Acide linoléique C18 :2	Acide linoléique C18 :3
Le blé	18	15	63	4
L'orge	25	8	61	6

(**Godon et Willm, 1998**)

Les deux tiers de ces lipides sont extractible par l'éther : on les appelle des lipides libres par opposition aux lipides liés aux autres constituants protéiques ou glucidiques.

I.4.7. Les matières minérales

Sont représentées à raison de 2 à 3%, (1.9% pour le blé et 2% pour l'orge). La teneur des grains en matières minérales ainsi que la composition de ces matières minérales sont relativement fixes quelles que soient les conditions externes de culture (**Godon et Willm, 1998**).

Le taux des minéraux de la semoule (du blé ou d'orge) est fonction du degré de minéralisation des grains, mais surtout des paramètres du conditionnement et du diagramme de mouture (extraction) (**Anonyme, 2003**).

I.4.8. les vitamines

Leur teneur est beaucoup plus faible que celle des autres constituants ; elle s'exprime en milligramme pour 100g de grains. Cependant leur intérêt nutritionnel est important (**Godon et Willm, 1998**).

Les vitamines les plus importants sont figurées dans le tableau n°6.

Tableau n°6 : Teneurs moyennes en vitamines (Exprimée en mg pour 100g de grains)

Espèces	Thiamine B1	Riboflavine B2	Niacine PP	Pyridoxine B6	Tocophérols E
Blé	0.52	0.12	6.00	0.50	2.0
Orge	0.50	0.18	5.50	0.30	1.1

(**Godon et Willm, 1998**)

I.4.9. les fibres alimentaires

Les fibres alimentaires se définissent comme la partie des plantes que l'organisme ne peut assimiler ou digérer. Ce sont des substances d'origine végétale non digérées par les enzymes digestives. Se trouvent dans les produits ayant subi peu de transformation en industrie, par exemple au niveau des produits céréaliers notamment l'avoine et l'orge qui ont une forte teneur en fibres (**Anonyme, 2002, 1**).

Les fibres alimentaires correspondent aux fibres de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Ces fibres alimentaires se trouvent dans le tégument, elles favorisent le transit

intestinal. On trouve au niveau des parois cellulaires de l'endosperme de la graine d'orge des polysaccharides tels que les B-glucanes et les pentosanes (**Hamoun et al., 2001**).

La lignine : c'est une fibre dure qui entoure les parois végétales ; ce qui confère à ces derniers une rigidité et une bonne résistance à la compression (**Pickering et Johnston, 2005**).

Il existe des fibres solubles et des fibres insolubles qui se trouvent souvent dans le même aliment. Les fibres peuvent gonfler en absorbant jusqu'à 20 fois leur poids en eau. Principaux constituants des parois de l'albumen (70 à 80%) selon (**Jeantet et al., 2007**). elles représentent 6 à 8% du grain et 2 à 3% de la semoule.

II.1. Objectif et Procédés

L'objectif de la première transformation est d'isoler l'albumen des parties périphériques (à savoir les enveloppes, la couche à aleurone et le germe). C'est une opération de fragmentation et de séparation. (Godon et Willm, 1991)

II.1.1. le pré nettoyage

Le blé pesé est envoyé vers le séparateur aspirateur, cet appareil à but d'enlever les impuretés de blé de taille notamment différentielle.

Le séparateur aspirateur est constitué par 3 tamis légèrement inclinés est munis d'un mouvement de va et vient avec forte aspirateur permettent d'enlever les poussières.

- ❖ **1^{er} tamis** : A grosses perforations, laisse passer plus rapidement le blé et retient les impuretés les plus grosses que lui.
- ❖ **2^{ème} tamis** : A perforations plus étroites, laisse encore traverser le blé et retient les déchets légèrement plus volumineux que celles qui traversent le premier tamis.
- ❖ **3^{ème} tamis** : Dont les perforations sont inférieures à la taille du blé retenu, le rôle de celui-ci est de laisser passer les petites impuretés et l'aspiration de la poussière présente dans le blé (Feillet, 2000).

Tableau n°7 : méthode de séparation d'impuretés utilisées pour le nettoyage

	<i>Nature des impuretés</i>	<i>Nom de l'opération</i>	<i>Machines</i>
Taille	Plus grosse (paille, mais)	Tamisage ou calibrage	Nettoyage – séparateur
Forme	Plus longue (avoine)	Triage	Trieur graine longue Trieur graine ronde Trieur hélicoïdal
Densité	Plus dense (pierres) Moins dense (ergot)	Classement densimétrique	Epierreur – laveuse Table densimétrique
Propriétés physico-chimique	Magnétique (fer) Coefficient de frottement (grain vêtu) Couleur (ergot)	Séparation	Aiment rotatif séparateur Séparateur Colorimétrique

(Godon et Willm, 1998)

II.1.2. le nettoyage

Cette opération est principale car consiste à éliminer complètement tous les grains étrangers (cailloux, pierres...), ce qui risque d'affecter l'apparence du produit fini (la

semoule), il y aura donc lieu de prendre certaines précautions et adapter un grand soin lors des opérations de calibrage de la semoule (**Feillet, 2000**).

II.1.2.1. Triage

A pour but d'enlever les impuretés du blé qui ont le même diamètre que celui du blé mais la différence est dans la longueur, elles sont :

- Soit plus courte, telle que les grains ronds,....etc.
- Soit plus longue, telle que les grains d'avoine, orge,....etc (**Feillet, 2000**).

II.1.2.2. Brossage

Après l'étape du triage, le blé subit l'opération du brossage, dont le but est d'enlever la poussière qui se trouve dans le sillon, cette opération est réalisée par la brosse à blé, dans cette machine, le grain est roulé entre une paroi métallique, généralement en tôle perforée, et une brosse qui est fixée sur un arbre tournant. La poussière est détachée du grain et aspirée à travers la tôle au moyen d'une aspiration qui refoule l'air dans un cyclone ou un filtre (**Boudreau et Menard, 1992**).

II.1.2.3. Lavage

Le nettoyage du blé souvent complété par le lavage, opération qui peut être considérée également comme la première phase de la préparation à la mouture, celle-ci consiste généralement à additionner une légère quantité d'eau, il a pour but d'enlever la poussière et de permettre aussi l'élimination la plus complète des corps étrangers. Le blé déversé dans le sac de laveuse est brassé dans l'eau, les pierres et le sable plus lourds tombent au fond et sont évacués, les grains de blé creux flottent et sont également évacués (**Fellet, 2000**).

II.1.3. préparation du blé à la mouture

Cette opération répond à un double objectif (**Godon, 1991**) :

- ❖ En premier lieu elle va assouplir l'écorce du grain et faire en sorte que son humidité soit légèrement supérieure à celle de l'amande. De ce fait la séparation de l'écorce du grain de l'amande sera facilitée.
- ❖ En deuxième lieu, il s'agit d'amener l'amande dans un état physique tel que sa réduction en semoule sera obtenu le plus rapidement.

Le blé arrive au moulin avec une teneur en eau faible et ne se trouve pas de ce

fait dans les conditions voulues, donc il sera nécessaire de procéder à la préparation du grain et de se livrer à une double opération qui comprendra : une addition d'eau ou mouillage suivi d'un temps de repos ou conditionnement.

II.1.3.1. Le Mouillage

C'est une humidification du grain, au départ le grain de blé possède une teneur en eau égale à 11 ou 12%. Le grain est humidifié jusqu'à blé à une 16 à 16.5 même à 17%. Cette action se fait simplement par addition d'une certaine quantité d'eau au blé (eau froide parfois chaude ou en vapeur).

II.1.3.2. Le conditionnement

Après avoir été mouillé, le blé doit subir un temps de repos de 10 à 18h appelé conditionnement afin que l'eau pénètre dans le grain et se répartisse, et ce repos peut avoir lieu dans des boisseaux de repos au dans des appareils spéciaux appelés « conditionneurs-sécheurs ».

II.1.3.3. Un nouveau brossage

Identique à celui qui prend place après triage. La brosse qui se trouve ici fonctionne à la cadence du moulin et parfait le nettoyage des grains juste avant le broyage.

II.1.4. La mouture

C'est l'opération centrale de la transformation du blé en semoule, est par la succession des opérations suivantes (**Feillet, 2000**) :

II.1.4.1. Broyage

Consiste à ouvrir les grains de blé pour extraire le maximum de semoule et le minimum de farine. Ce broyage est réalisé par une série d'appareils à cylindre appelés « broyeur » doté de paires de rouleaux cannelés et dont chaque passage est désigné par un numéro l'identifie : **B₁, B₂, B₃,...**etc.

II.1.4.2. Blutage ou tamisage

Consiste à classer les produits de mouture : gros broyat, fin broyat, grosse semoule, moyenne, fin...etc. Ce procédé est réalisé par une série de machines appelées « plansichter », composées d'une série de tamis renfermés dans des compartiments, chacun est réalisé

individuellement et directement à chaque opération réalisée par chacun des appareils à cylindre. Chaque plansichter est identifié par une appellation : **PB₁, PB₂, PB₃...**etc.

II.1.4.3. Sassage

Consiste à épurer toutes les semoules produites après écrasement et classement en les débarrassant au maximum des particules de son qui s'y trouvent encore mélangées. Les « sasseurs » assurent cette opération, ils sont dotés de canalisations connectées au collecteur principal d'air d'aspirations à basses pressions, et sont pourvus de tamis adéquats.

II.1.4.4. Convertissage

S'effectue au niveau des minoteries, consiste à réduire toutes les semoules propres et épurées pour leur transformation en farine. Cette opération est réalisée par appareils à cylindres appelé « convertisseurs » dotés chacun de paires de rouleaux lisse et portant individuellement aussi un numéro d'identification tel que : **C₁, C₂, C₃...**etc.

II.1.4.5. Désagrégage

Par des appareils à cylindre munis de très fines cannelures appelés « désagrégueurs ». Ils interviennent dans le traitement des semoules vêtues en éliminant les fragments de son qui adhèrent à l'amande. Les semoules étaient classées en fonction de la densité et de la granulométrie, les semoules refusées au niveau du sasseur sont appelées semoules vêtues (amandes + enveloppes) :

- ❖ Si l'amande prédomine : on parle de semoules vêtues.
- ❖ Si les enveloppes prédominent : on parle de refus.

II.2. Procédé de la mouture d'orge

La mouture de l'orge est similaire à celle du blé tendre après décorticage, l'orge est introduit d'abord dans un broyeur à ouverture 9 (1,4 mm) puis un deuxième broyage à ouverture 5 (820 µm) en passant entre les deux par un tamisage à l'aide d'un tamis à calibre 14 pour récupérer les glumes. Le broyat fin obtenu passe dans le moulin d'essai pour l'obtention de la farine, du son et les remoulages (**Kouidri, 1999**)

II.3. La semoule

Le codex Alimentarius, (2007) définit la semoule de blé dur comme le produit obtenu à partir des grains de blé dur par procédés de mouture ou de broyage au cours des quels le son et le germe sont essentiellement éliminés.

La semoule constitue le produit fini de la première transformation du blé dur par le procédé de mouture. Elle est constituée des fragments de l'amande du grain aussi purs que possible dont la taille granulométrique est supérieure à 150 μ m. en fait , il n'existe pas un seul, mais de nombreux types de semoules qui sont définies principalement d'après leur granulométrie (**Bailly, 1985**).

II.3.1. Classification des semoules

En Algérie, les semoules sont classées en fonction de leur grosseur :

- Semoules grosses (SG) : la dimension des particules est comprise entre 900 et 1100 μ m, destinées à des usages domestiqués.
- Semoules moyennes (SGM) : comprises entre 550 et 900 μ m, destinées à la fabrication des galettes et du couscous.
- Semoules sassées super extra (SSSE) : comprises entre 190 et 550 μ m, destinées à la fabrication des pâtes alimentaires.
- Semoules sassées super fines (SSSF) : comprises entre 140 et 190 μ m, proviennent des couches périphériques du grain (**Boukhamia, 2003**).

II.3.2. La qualité de la semoule

On définit la qualité d'une semoule en fonction de la qualité du produit fini.

- Pour la fabrication de couscous : la recherche des semoules pures, de couleur ambrées avec une granulométrie homogène et une bonne teneur en gluten.
- Pour la fabrication des pâtes alimentaires : la recherche des semoules pures et non contaminées par le son ou par la présence de moucheture avec une qualité protéique satisfaisante (**Mariche, 2000**).

II.3.2.1. L'odeur

La semoule ne doit présenter aucune odeur particulière, car il existe des semoules présentant une odeur acide et un goût de rance suite à l'altération des lipides, ce qui influe sur la qualité du produit fini.

II.3.2.2. La granulation

La granulométrie des semoules varie en fonction des marchés et des usages locaux. Dans les pays de Maghreb et du Moyen-Orient, on utilise surtout des grosses semoules pour la fabrication du couscous (**Godon et Willm, 1998**).

II.3.2.3. La coloration

Elle est le facteur le plus important parce qu'elle affecte l'aspect des pâtes alimentaires produites, elle est en général jaune ambrée, due à la présence des pigments caroténoïdes et xanthophylles dans la semoule.

La couleur joue un rôle très important comme un indicateur technologique qui permet de contrôler :

- Le nettoyage de la graine ;
- La teneur en impuretés et la présence d'enveloppe dans le produit fini ;
- L'aspect des semoules et des pâtes alimentaires par des piques de coloration divers ;
- La teneur des semoules en pigments caroténoïdes est influencée par la variété des blés durs traités ;
- La teneur en lipoxygénase et la β -Carotène, qui provoquent l'oxydation des pigments en présence d'oxygène (**Godon, 1998**).

II.3.2.4. L'élasticité

Les semoules très pures, provenant du centre de l'albumen, possèdent de bonnes propriétés rhéologiques (en particulier d'élasticité) mais ont tendance à se déliter si la cuisson se prolonge. Inversement les produits les plus périphériques fournissent des produits finis qui manquent d'élasticité mais qui peuvent conserver un remarquable état de surface même après cuisson. (**Abecassis, 1991**)

III.1. Un peu d'histoire

Le couscous est le plat national de l'Algérie. Son appellation provient du mot berbère « seksu » et connu par l'appellation « ta'aam ». C'est un terme qui a un double sens. Il désigne aussi bien la graine que le plat national de certains pays d'Afrique du nord (Anonyme, 2006).

- Le premier sens c'est le plat national est composé de semoule cuit à la vapeur qui sert d'accompagnement à un bouillon contenant divers légumes, d'épices et de la viande, essentiellement de l'agneau ou de mouton.
- Le second sens du couscous, la graine, s'agit d'un mélange de semoule de blé et de farine aspergée d'eau froide salée, puis pressé et roulé.

Le couscous est un aliment constitué de protéines, fibres, phosphore, glucides, et de vitamines B₃, il est pauvre en lipides et en sodium.

III.2. Définition

❖ Le couscous de blé dur

Le couscous est un produit composé de semoule de Blé dur à laquelle est ajoutée pour l'agglomérer, de l'eau potable et soumis à des traitements physiques (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 (Afnor, 1991).

❖ Le couscous d'orge

Le couscous d'orge est présent actuellement sur le marché français sous le nom « sekssou Al Belboula » ou « Tchicha », très répandu au Maroc. Ce couscous est élaboré à partir de la semoule d'orge, et il est toujours accompagné de légumes ou de petit lait lors de présentation. Son procédé de fabrication est semblable à celui du couscous de blé dur, et sa valeur nutritive est censée avoir des effets bénéfiques pour la santé (Anonyme, 2002, 2).

III.3. Fabrication du couscous

III.3.1. le procédé de fabrication du couscous artisanal

III.3.1.1. Malaxage

Pour le couscous roulé à la main, la semoule utilisée est de type « grosse » (2/3) auquel on ajoute 1/3 de la semoule fine, cette dernière est arrosée avec une petite quantité d'eau salée et malaxée avec les mains, puis séchée par addition de la semoule fine. Ces étapes sont répétées jusqu'à l'obtention du diamètre souhaité.

Le taux d'hydratation des semoules et la durée du malaxage agissent sur la qualité culinaire du couscous et sur le rendement de fabrication et il facilite le roulage (**Anonyme, 2002, 2**).

III.3.1.2. Roulage

Le roulage est l'opération de mise en forme du couscous par l'agglomération des particules de semoules hydratées. Il s'effectue par les mouvements de va et vient de la paume des mains afin d'assurer un bon mélange et favoriser l'absorption de l'eau ; avec une addition continue de la semoule fine jusqu'à l'agglomération de la semoule pour faire des particules grosses, homogènes et de forme régulière (**Anonyme, 1999**).

III.3.1.3. Tamisage

C'est l'opération qui assure l'homogénéité du couscous à travers deux tamis :

- ❖ Tamis à perforations étroites : vise l'élimination de fines particules de semoule qui ne sont pas encore agglomérées et qui vont être recyclées.
- ❖ Tamis de larges perforations : pour l'élimination de gros grumeaux qui sont formés au moment de l'agglomération.

III.3.1.4. Précuisson

C'est un traitement hydrothermique obligatoire dont le but est de gélatiniser l'amidon (intérêt nutritionnel) et éviter d'autre part l'agglomération des particules de couscous au cours de la réhydratation (**Guezlane, 1993**).

Il consiste à mettre le couscous dans un couscoussier constitué de deux parties : un récipient inférieur contenant de l'eau en ébullition surmonté par un autre récipient (couscoussier dont l'épaisseur est de 13cm) percé de nombreux trous pour faciliter le passage de la vapeur et dans lequel est mis le couscous. la durée de précuisson est de 10mn (**Kherif, 1996**).

III.3.1.5. Séchage

Le séchage consiste à abaisser le taux d'humidité du couscous de 30% jusqu'à 12 à 15% en fin de séchage de manière à stabiliser le produit fini et à lui assurer une meilleure conservation. Le séchage est réalisé par étalement du couscous sur une ligne propre, à la température ambiante et à l'abri des poussières. La durée est fonction de la température Ambiant et de l'humidité relative (**Anonyme, 1999**).

III.3.2. Technologie de fabrication du couscous industriel

Le procédé de fabrication du couscous industriel est inspiré de la méthode manuelle. S'agit-il d'un couscous à base de blé dur ou à base d'orge, les grandes étapes de fabrication sont mêmes, la seule différence réside dans les températures de la précuisson et du séchage, qui seront diminués dans le cas du couscous d'orge car il est plus sec que le blé dur (**Guezlane, 1993**).

III.3.2.1. Hydratation et malaxage

Le but de cette opération est de préparer et d'amalgamer le mélange eau/semoule et de le rendre apte à la production du couscous, en faisant en sorte que les composants se mélangent de façon constante et dans les proportions préalablement fixées. Cela est possible grâce aux équipements qui composent ce groupe et qui sont décrits ci-après :

1. Groupe doseur eau/semoule

Un distributeur de semoule et un doseur d'eau douce de débits réglables (environ 30 litres d'eau pour 100kg de semoule), placés au-dessus de la mélangeuse centrifuge alimentent en continu cette dernière. La quantité d'eau ajoutée doit suivre le débit d'alimentation en semoule.

La capacité de l'absorption d'eau durant l'étape mélange/malaxage est inversement proportionnelle à la granulométrie de la semoule, tandis que le rendement en couscous est proportionnel à cette dernière (**Anonyme, 1996**).

2. Groupe de malaxage

À la sortie du doseur, l'eau et la semoule entrent dans une mélangeuse, laquelle grâce à une vitesse de rotation élevée favorise une rapide et uniforme répartition de l'eau au sein des semoules, en facilitant ainsi les phases successives de mélange du produit.

Le rôle du malaxage est de faciliter l'agglomération des grains de semoule sans, cependant, obtenir un mélange du type pour pâte alimentaire. La cuve mélangeuse est munie de deux arbres à palettes parallèles tournant à la même vitesse (60 tr/mn), mais en sens inverse. Les palettes disposées de manière alternées assurent lors de la rotation de l'arbre, le mélange intime des grains de semoule et favorisent ainsi une agglomération homogène (**Anonyme, 1996**).

III.3.2.2. Roulage

Il a pour but de poursuivre l'agglomération et obtenir des particules homogènes de forme régulière. Le roulage de la semoule hydratée se réalise par des tambours de formation ou rouleuse. La rouleuse est constituée de deux tambours dont chacun est subdivisé en deux sections pour la formation et le tamisage du produit :

- ❖ Dans la première section qui représente des mailles plus petites, la formation des grumeaux est réalisée au moyen de l'action coordonnée de deux toiles se frottant l'une contre l'autre à des vitesses différenciées. Les grains de semoule, s'étant agglomérés dans la mélangeuse, subissent ainsi une action de roulage jusqu'à l'obtention du couscous.
- ❖ Dans la deuxième section du tambour, revêtue de toile à grosses trames, se réalise la séparation entre le couscous formé qui sera dirigé vers le cuiseur et les gros grumeaux qui seront recyclés vers la cuve mélangeuse. L'opération de dégommage du tambour est assurée par une brosse placée tout le long du tambour (**Anonyme, 1996**).

III.3.2.3. Précuisson

La précuisson constitue le traitement hydrothermique « obligatoire » que l'on impose au couscous juste après l'avoir mis en forme pour gélatiniser l'amidon (intérêt nutritionnel) et éviter d'autre part l'agglomération des particules de couscous au cours de la réhydratation (intérêt organoleptique).

La cuisson des produits céréaliers (pâte alimentaire et couscous....) répond à un triple intérêt :

- ❖ Gélatiniser l'amidon pour le rendre hydrophile.
- ❖ Modifier l'aspect textural des produits de manière à leur conférer les caractéristiques souhaitées.
- ❖ Elever la température des produits (**Guezlane, 1993**).

La précuisson s'effectue à la vapeur à une température de 180°C pendant 8mn.

La section de cuisson à la vapeur est composée de quatre éléments dont l'ensemble est monté sur robuste charpente métallique, et le tunnel de vaporisation est construit en acier inoxydable à double parois isolées et équipées de portes d'insertion afin de pouvoir effectuer aisément les opérations de nettoyage (**Boudreau et Menard, 1992**)

Ces éléments sont :

- ❖ **Distributeur** : le couscous déposé sur le tapis roulant en couche est égalisé en largeur grâce à un distributeur réglable. Cet appareil est constitué de vis sans fin en acier inoxydable à enroulement dans les deux sens (à droite et à gauche) à partir du centre.
- ❖ **Tapis transporteur** : se localise à l'intérieur du tunnel de vaporisation, ses mailles permettent juste le passage des vapeurs, il tourne à vitesse réglable qui permet ainsi le contrôle du temps de cuisson. Après chaque déchargement, ce tapis passe sur une brosse qui le débarrasse des dépôts qui restent collés.
- ❖ **Concasseur (démotteur)** : à la suite du cuiseur, le couscous passe dans un démotteur qui provoque la rupture des grumeaux du couscous précuit qui est transporté par suite vers les rotentes.
- ❖ **Aspirateur vapeur** : a pour but de capter la vapeur en excès qui n'est pas utilisée et qui autrement, se reprendit dans le milieu ambiant.

III.3.2.4. Séchage

Le séchage est l'un des principes généraux sur lesquels est basée la conservation du couscous. En effet, c'est la phase la plus importante et la plus délicate de la fabrication après l'étape de roulage. Il doit faire suite immédiatement aux trois opérations ci-dessus (malaxage, roulage et précuisson) (**Anonyme, 1996**).

Le séchage s'effectue en deux stades, le premier à 65°C pendant 120mn et le second à 55°C pendant 270mn ; et il joue un rôle important dans les caractéristiques organoleptiques du produit fini.

Pour le séchage du couscous, il existe plusieurs types de séchoirs ; les plus utilisés sont les séchoirs à hélice.

➤ **Les séchoirs à hélice**

Sont constitués par plusieurs cylindres. Dans chaque cylindre loge une hélice fixée par rapport à son axe et mobile autour de l'axe de la série. Cette hélice couverte par une toile métallique criblée, permet au couscous de progresser horizontalement grâce au mouvement

communiqué indirectement par la rotation de la série. Les particules fines qui tombent dans les séchoirs seront recyclées (**Boudreau et Menard, 1992**).

III.3.2.5. Calibrage

C'est la phase qui permet de classer les différents types de couscous. Ce dernier passe dans un plansichter muni de plusieurs tamis d'ouverture de mailles différentes, permettant ainsi le classement des particules de couscous selon leurs dimensions.

Les fines particules sont retournées à travers un vice sans fin vers le début de la chaîne pour être recyclées (au niveau de la mélangeuse). Les grosses particules et les boules vont être broyées puis retournées vers chaîne au niveau des séchoirs.

III.3.2.6. Stockage et conditionnement

Les particules de couscous de calibre désiré et d'aspect régulier seront acheminées vers les silos de stockage et emballées d'une manière hygiénique dans les emballages (sachet) puis dans des cartons.

III.4. Composition biochimique du couscous

La composition biochimique du couscous est presque identique à celle des semoules utilisées, ainsi le tableau n°8 rapportant quelques valeurs de la composition du couscous comparée à celle de blé dur, d'orge et des pâtes alimentaires.

Tableau n°8 : la composition du couscous comparée à celle de blé dur et des pâtes alimentaires (exprimée en % e MS)

	<i>Couscous</i>	<i>Blé dur</i>	<i>Pâtes alimentaires</i>	<i>Orge</i>
<i>Eau</i>	10.1	12.66	10.76	12.5
<i>Protéines</i>	13.64	13.77	12.99	11.5
<i>Amidon</i>	51.45	54.16	55.13	63
<i>Lipides</i>	1.86	1.90	1.04	2.5
<i>Cellulose</i>	0.95	1.01	1.03	1.6
<i>cendre</i>	1.96	0.79	1.15	2.1

(Anonyme, 2006)

MATERIEL ET METHODES

I.1. Objectif du travail

Notre étude porte sur les caractéristiques physico-chimiques, organoleptique et microbiologiques de trois variétés couscoussières dont deux artisanaux et un industriel. Elle fondée sur :

- Les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des deux couscous de blé dur (artisanal et industriel).
- La présentation du couscous d'orge qui n'est pas très répondu en Algérie, et ses caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques

Cette étude a été effectuée au niveau du Sarl SOPI « Société des Pâtes Industrielles » à BLIDA, où nous avons suivi le procédé de transformation du blé dur en semoule, et celui de la fabrication du couscous industriel (couscous MAMA). Ainsi qu'au niveau du laboratoire de l'industrie, nous avons effectués les analyse technologiques (teneur en gluten, la granulométrie) et les analyses physico-chimiques (teneur en eau, taux de cendre et teneur en protéine) sur la matière première (semoule) et le produit fini (couscous), et quelque analyses déterminantes de la qualité culinaire du couscous (le gonflement, le test de cuisson, la délitescence et la prise en masse) et les analyses microbiologiques. Et cela durant la période qui s'étale du moins de février au mois de mai 2013.

I.2. Matériel végétal

- La semoule utilisée est d'origine de 100% de blé dur.
- La semoule d'orge.
- Le couscous industriel étudié (couscous MAMA).
- Le couscous artisanal composé par 100% de semoule du blé dur.
- Le couscous d'orge composée par 100% de semoule d'orge.

I.3. Echantillonnage

Le prélèvement des semoules a été effectué manuellement à partir du moulin (environ 500g par jour).

Le prélèvement du couscous a été effectué manuellement à partir du calibreur (dernière étape de fabrication), nous avons prélevés 50g du couscous moyen chaque les 2 heures.

I.4. Analyses physico-chimiques

I.4.1. Analyses des grains (blé dur, orge)

1.4.1.1. Masse à hectolitres (NA.1613/1990)

❖ Principe

Ecoulement libre d'un échantillon au moyen d'une trémie dans un récipient d'un litre. La masse à hectolitre correspond à la masse de blé contenu dans un hectolitre rempli de grains, d'impuretés et d'air interstitiel.

❖ Mode opératoire

- Remplissage de la trémie
 - Poser la mesure sur un plan horizontal stable. La trappe étant fermée, remplir cette trémie avec le grain dont on veut connaître le poids.
 - A battre le trop-plein avec une règle et ouvrir le trop entièrement et d'un coup sec, le grain tombe dans la mesure de 1 litre.
- Arasement et pesée de la mesure.
 - Aussitôt après la fin du jet et sans fermer la frappe, araser la mesure.
 - Une fois la mesure arasée, on pèse le grain.

La masse à hectolitre est exprimée en kilogramme par hectolitre.

1.4.1.2. Poids de mille grains (PMG) (NA.730.1991)

❖ Principe

- pesée d'une quantité de l'échantillon, séparation des grains entiers et pesée du reste, puis comptage des grains entiers.
- division de la masse des grains entiers par leur nombre, et expression du résultat rapporté à 1000 grains.

❖ Mode opératoire

- prélever au hasard une quantité approximativement égale à la masse de 500 grains de l'échantillon et la peser.
- sélectionner les grains entiers, peser le reste et en déduire par différence la masse des grains entiers. Puis compter ces derniers à l'aide du compteur de grains.
- déterminer sur un échantillon séparé la teneur en eau.

Les résultats sont exprimés en poids de grains secs (g):



$$PMG = M \times [(100 - H) / 100]$$

M: la masse de 1000 grains.

H: l'humidité des grains.

1.4.1.3. Teneur en eau (NA/ 1.1.32/1990)

❖ Principe

La teneur en eau est la perte de masse, déterminée par séchage de 5g de l'échantillon après broyage (s'il est solide) à une température de 130°C.

❖ Mode opératoire

- Sécher les capsules avec leurs couvercles à l'étuve pendant 15 mn à 130C, puis refroidir dans un dessiccateur.
- Peser 5g de l'échantillon et broyer rapidement si l'échantillon nécessite un broyage.
- Verser dans la capsule tarée et adapter rapidement le couvercle.
- Introduit la capsule contenant la prise d'essai dans l'étuve et laisser séjourner 2 heures à 130°C.
- Retirer rapidement la capsule de l'étuve, et laisser refroidir dans un dessiccateur.
- Peser la capsule.

La teneur en eau est exprimée en %:

$$H = (M_1 - M_2 / M_0) \times 100$$

H: humidité.

M₀ : la masse en gramme de la prise d'essai (5g).

M₁: la masse en gramme de la capsule + la prise d'essai avant séchage.

M₂: la masse en gramme de la capsule + la prise d'essai après séchage.

1.4.1.4. Taux de cendre (NA.732/1991)

Principe

La détermination de la teneur en cendre s'effectue par incinération d'une prise d'essai dans une atmosphère oxydante, à une température de 900°C jusqu'à combustion complète de la matière organique et par pesée du résidu obtenu.

Mode opératoire

- Détermination de la teneur en eau.
- Chauffer les nacelles dans un four réglé à 900°C pendant 15 mn ; ensuite les laisser refroidir dans un dessiccateur, puis les peser.
- Peser 5g d'échantillon dans une nacelle tarée.
- Placer les nacelles dans un four à 900°C pendant une durée de 2h jusqu'à incinération totale.
- Retire les nacelles et les laisser refroidir puis on les pèse rapidement.

Le taux de cendre est exprimé en % de matière sèche:

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

Tc : taux de cendre

M₁ : la masse en gramme de la nacelle vide

M₁ : la masse en gramme de la nacelle + la prise d'essai avant incinération

M₂ : la masse en gramme de la nacelle + la prise d'essai après incinération

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

1.4.1.5. Teneur des protéines totale (NF V 03-050)

Le principe de la méthode de KJELDAHL est basé sur la minéralisation de l'échantillon par voie humide en utilisant l'acide sulfurique (0.1N) en présence de catalyseur qui facilite et accélère la réaction (sulfate de potassium).

La minéralisation est suivie par une alcalinisation des produits de la première réaction par addition d'une quantité suffisante d'hydroxyde de sodium puis on effectue une distillation de l'ammoniac libéré.

Après la distillation on fait un titrage de l'ammoniac en utilisant une solution d'acide borique en présence d'un indicateur coloré tel que le rouge de Méthyle ou le bleu de Bromocrésol.

Après titrage on peut calculer la teneur en azote totale rapportée a la matière sèche par la relation :

$$Teneur\ en\ azote\ (g/100g) = \frac{V}{M} \times 0.0014 \times 100$$

V : volume en millilitre de la solution d'acide sulfurique versé à la burette lors du titrage.

M : masse en gramme de la prise d'essai (1g).

La teneur en protéine est obtenue par la relation suivante :

$$Teneur\ en\ protéines\ (g/100g) = TA \times K$$

TA : teneur en azote exprimée en (g/100g).

K : coefficient de conversion de l'azote en protéines totales.

K = 5.7 cas de blé.

= 5.83 cas de l'orge.

I.4.2. Analyses de la semoule

I.4.2.1. Granulométrie (taux d'affleurement) (NF V03- 721/1994)

❖ Principe

La granulométrie des semoules est un classement dimensionnel des particules selon leurs tailles on utilisant un sasseur de type « BUHLER » avec des tamis mobiles dont les ouvertures des mailles sont respectivement les suivantes (du haut en bas) :

900 µm, 710 µm, 630 µm, 500 µm, 450 µm, 355 µm,
250 µm, 160 µm et <160 µm d'ouverture de maille.

Le calibrage des particules de semoules est très important afin d'obtenir une bonne hydratation car la capacité de cette dernière est fonction de la surface de contact des

particules avec l'eau. Les fines particules absorbent l'eau plus rapidement que les grosses particules.

❖ **Mode opératoire**

- Pesage de 100g d'échantillon à analyser (semoule de blé et d'orge).
- Déposer la prise d'essai sur le tamis supérieur.
- Placer les tamis sur un appareil qui exerce des mouvements circulaires vibratoires uniformes, dont la vitesse est de 60 tr/mn pendant 10 mn.
- Pesage de refus de chaque tamis.

I.4.2.2. Teneur en eau

La détermination de la teneur en eau est effectuée à partir de la méthode normalisée : **NA.1.1.32/1990** citée dans la page : (33)

I.4.2.3. Taux de cendre

La détermination du taux de cendre est effectuée à partir de la méthode normalisée : **NA.732/1991** citée dans la page : (34)

I.4.2.4. Teneur en protéines totales:

La détermination de la teneur en protéines totales est effectuée à partir de la méthode normalisée : **NA.1185/1990** citée dans la page (34)

I.4.3. Analyse du produit fini (couscous)

I.4.3.1. Procédé de fabrication du couscous artisanal

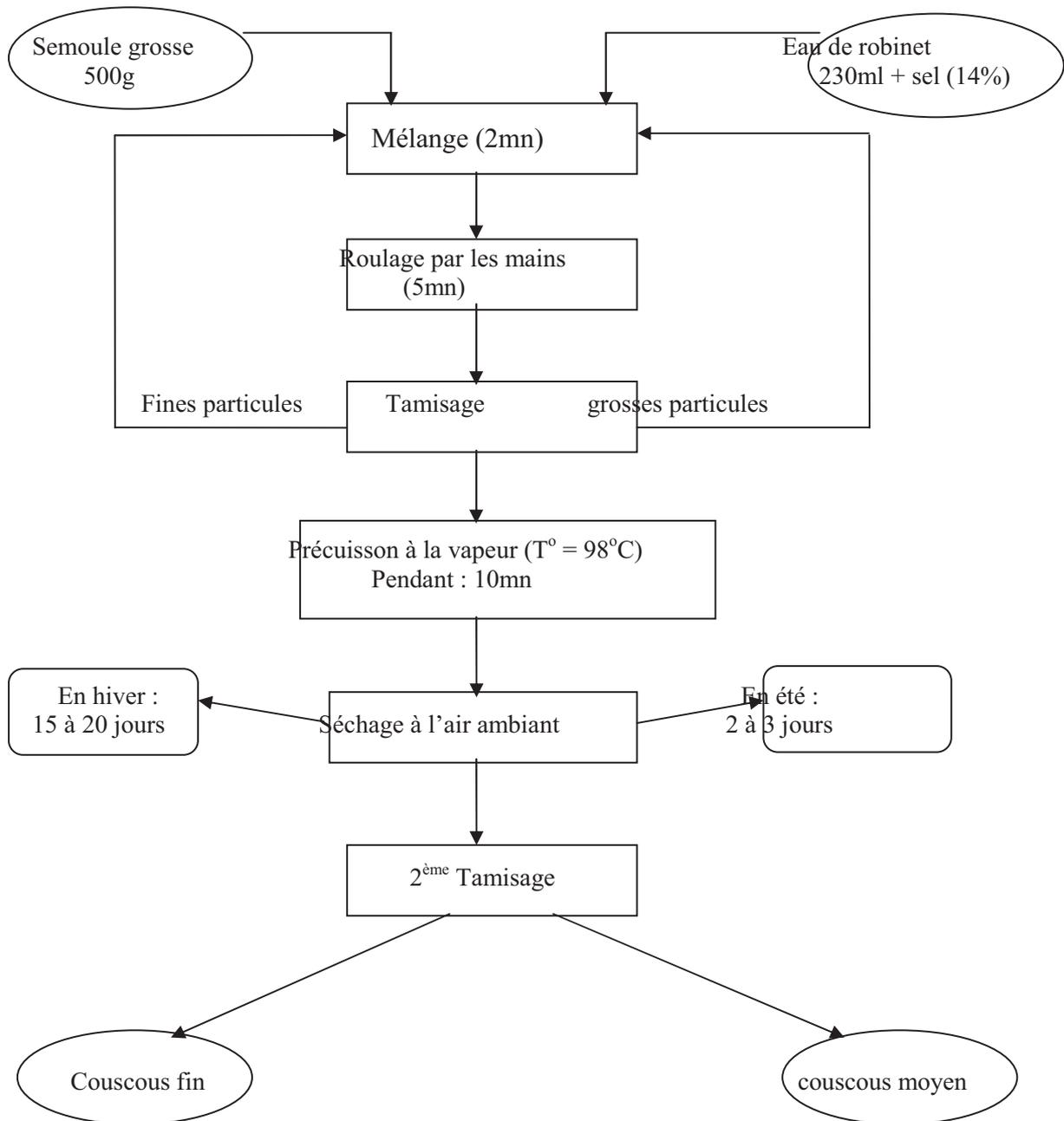


Figure 04 : Diagramme de fabrication du couscous artisanal (original)

I.4.3.2. Procédé de fabrication du couscous industriel

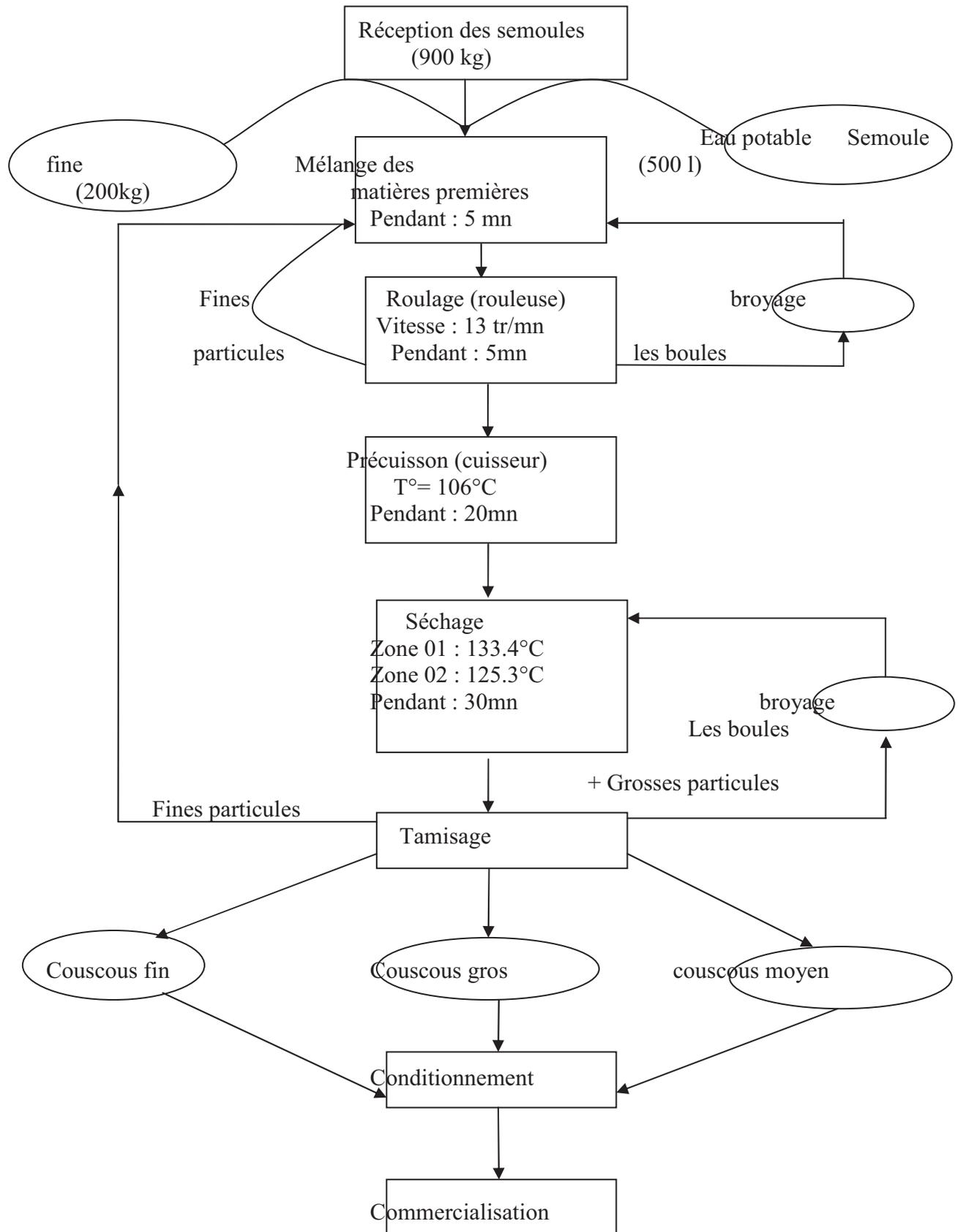


Figure 05 : Diagramme de fabrication du couscous industriel (original) « SOPI »
I.4.3.3. Granulométrie (Blanc, 1985)

❖ Principe

La granulométrie du couscous est une opération de classement dimensionnel des particules selon leurs tailles, par présentation sur des surfaces perforées qui laissent passer des grains de dimensions inférieures aux dimensions des perforations tandis que les grains de dimensions supérieures sont retenus. Le but est de déterminer l'homogénéité du couscous ainsi que la taille des grains formés.

Les tamis utilisés sont différents de celle des semoules, et les ouvertures des mailles sont respectivement les suivantes (du haut en bas) :

2 mm, 1,8 mm, 1,6 mm, 1,4 mm, 1,25 mm, 1 mm, 0,9 mm, 710 μm , 630 μm , 500 μm
et <500 μm d'ouverture de maille.

❖ Mode opératoire

- Pesage de 100g d'échantillon à analyser.
- Déposer la prise d'essai sur le tamis supérieur.
- Placer les tamis sur un appareil qui exerce des mouvements circulaires vibratoires uniformes, dont la vitesse est de 60 tr/mn pendant 10mn.
- Pesage de refus de chaque tamis.

I.4.3.4. Teneur en eau

La détermination de la teneur en eau est effectuée à partir de la méthode normalisée : **NA 1.1.32/1990** citée dans la page : (33)

I.4.3.5. Taux de cendre

La détermination du taux de cendre est effectuée à partir de la méthode normalisée : **NA.732/1991** citée dans la page : (34)

I.4.3.6. Teneur des protéines totales

La détermination de la teneur en protéines totales est effectuée à partir de la méthode normalisée : **NA.1185/1990** citée dans la page (34)

I.5. Analyses technologiques

I.5.1. Analyses de la semoule

I.5.1.1. Taux de gluten (NA 735/1989)

❖ Principe

Le dosage repose sur son insolubilité dans l'eau salé et sur la propriété qu'il possède de s'agglomérer lorsqu'on le malaxe sous un courant d'eau qui élimine les autres constituants. La masse plastique est pesée à l'état humide puis après séchage.

❖ Mode opératoire

Préparation de la pâte

- Peser 10g de semoule (semoule du blé dur/ semoule d'orge)
- Introduire la prise d'essai dans le mortier
- Ajouter 5ml de solution de Na Cl en agitant la semoule par la spatule et former une boule de pâte en prenant les pertes de la semoule.
- Rouler cette boule de pâte entre la paume de la main jusqu'à ce qu'elle n'adhère plus.
- Malaxer le pâton en le plaçant dans la paume de la main tout en versant au dessus des gouttes de la solution de Na Cl, mais rapidement jusqu'à ce que l'eau de lavage ne soit plus laiteuse mais à peine trouble.

Essorage

- Lorsque le rinçage est terminé, la plus grande partie de la solution de rinçage adhère à la boule de gluten, on prend celle-ci entre les doigts et en lui faisant subir 3 compressions de courte durée.
- Façonner la boule du gluten sous forme de lamelle et la placer dans une presse à gluten.
- Peser la masse du gluten humide : GH.
- Placer le gluten humide dans la plaque chauffante pour obtenir le gluten sec : GS
- Peser la masse du gluten sec.

Les résultats sont exprimés par les formules suivantes :

➤ *La teneur en gluten humide (GH)*

La teneur en gluten humide est exprimée en % de matières humides.

$$GH (\%) = \frac{\text{Quantité du gluten humide}}{PE} \times 100$$

PE : la prise d'essai (10g).

➤ **La teneur en gluten sec (GS)**

La teneur en gluten sec est exprimée en % de matières sèches.

$$GS (\%) = \frac{\text{Quantité du gluten sec}}{PE} \times 100$$

PE : la prise d'essai (10g).

➤ **La capacité d'hydratation**

C'est la capacité du gluten à retenir l'eau, exprimé en % et donné par la relation :

$$\text{Le coefficient d'hydratation (\%)} = \frac{GH - GS}{GH} \times 100$$

GH: gluten humide.

GS: gluten sec.

I.5.2. Analyses du couscous

I.5.2.1. Gonflement à froid et à chaude (Guezlane et Abecassis, 1991)

❖ Principe

Le principe de ce teste est de déterminer le comportement du couscous lors de la réhydratation, car l'amidon pré-gélatinisé (cuit puis séché) gonfle directement dans l'eau froide et retient bien l'eau.

❖ Mode opératoire

- Verser 70g du couscous cru dans une éprouvette graduée de 100ml.
- Ajouter 50ml d'eau distillée (eau froide à 25°C ou chaude à 100°C)
- Agiter légèrement pour hydrater toute les particules.
- Ajouter à nouveau 50ml d'eau pour faire descendre les particules collées sur la paroi de l'éprouvette.
- Laisser au repos pendant 1 heure.
- Noter les modifications du volume du couscous après : 5mn, 10mn, 20mn, 30mn, 40mn, 50mn, 60mn.

Le gonflement est déterminé par la relation suivante :

$$G = 100 (VF / PE)$$

G : gonflement

VF: volume final de couscous

PE : prise d'essai

I.5.2.2. Prise en masse du couscous cuit (Guezlane et Abecassis, 1991)

❖ Principe

La prise en masse correspond au pourcentage en masse formant de gros agglomérats (supérieurs à 3 mm) pendant la réhydratation. Elle est déterminée par tamisage après cuisson du couscous suivant la méthode :

❖ Mode opératoire

- Placer 10g de couscous dans un cristalliseur
- Hydrater avec 16.5 ml d'eau distillée bouillante salée à 5g/l
- Recouvrir le cristalliseur avec une membrane de paraffine, et placer dans l'étuve pendant 4 heures à 90°C afin de ramener la teneur en eau du couscous à 12% de matière humide
- Peser la quantité de couscous obtenue et qui est considérée comme prise d'essai
- Réaliser un tamisage sur un tamis d'ouverture égale à 3150 µm pendant 5mn

L'indice de prise en masse par tamisage (IPMT) est défini par la relation :

$$IPMT (\%) = 100 (\text{refus à } 3150\mu\text{m} / PE)$$

I.5.2.3. Délitescence (Guezlane et Abecassis, 1991)

❖ Principe

La délitescence permet de déterminer l'état de désagrégation du couscous cru ou cuit ; Elle est exprimée en pourcentage.

❖ Mode opératoire

- Placer 10 g de couscous dans un bêcher ;
- Ajouter 50 ml d'eau distillée ;
- Agiter pendant 5 minutes ;
- Prélever une partie aliquote de la solution filtrée par un tamis fin (N10 Nylon) ;
- Sécher à l'étuve pendant 17h à 100°C ;
- Peser l'extrait sec obtenu qui représente la délitescence

Il faut noter que la délitescence est définie par la relation suivante :

$$Délitescence (\%) = \frac{L'extract\ sec\ obtenu}{PE} \times 100$$

I.5.2.4. Test de cuisson

Consiste à déterminer le taux de prise en masse du couscous lors de la préparation, par cuisson d'une quantité bien déterminer de couscous cru (sec) et suivre les modifications rapportées sur le poids après chaque étape de préparation.

- **1^{er} mouillage** : mouiller 100g de couscous avec de l'eau puis faire égoutter tout de suite et laisser le pendant 10mn pour que les grains de couscous absorbent l'eau ajoutée.
- **1^{ère} évaporation** : faire cuire le couscous à la vapeur pendant 15mn.
- **2^{ème} mouillage** : arroser progressivement le couscous d'une certains quantité d'eau.
- **2^{ème} évaporation** : faire cuire une deuxième fois à la vapeur pendant 15mn.
- On pèse le couscous après chaque de préparation.

I.6. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques visent le contrôle des aliments du point de vue présence ou absence des micro-organismes pathogène.

Ces analyses se font par isolement de microorganisme du substrat et les mettent en suspension dans un diluant puis les placer après au contact d'un milieu nutritif et dans les conditions favorables de développement (humidité et température).

Dans le cas des céréales, les microorganismes recherchés sont surtout les *Moisissures* et le *Clostridium Sulfito-Réducteur*.

Dans les laboratoires du contrôle de qualité les analyses microbiologiques se réalisent en 3 étapes fondamentales.

- la préparation de la suspension mère ;
- la préparation de dilution ;
- la recherche et le dénombrement des germes.

➤ Préparation des suspensions mères

Pour préparer une suspension mère, on procède comme suit :

- Dans un flacon d'eau physiologique TSE de 225 ml ; Introduire aseptiquement la quantité nécessaire (25g) du produit à analyser afin d'obtenir une solution mère de 1/10 ou 10^{-1} ;
- Déposer dans une étuve à 37°C pendant 30 minutes.

➤ Préparation des dilutions (Décimales)

La technique de dilution s'effectue aseptiquement avec un maximum de précision.

La préparation des dilutions décimales est réalisée comme suit :

- Préparer deux (2) tubes (pour chaque échantillon) contenant 9 ml d'eau physiologique (TSE) ;
- Introduire à l'aide d'une éprouvette graduée stérile 1 ml de la solution mère dans le premier tube dont on obtiendra une dilution 2/10 ou 10^{-2} ;
- Prélever 1 ml de la dilution 10^{-2} , et la porter dans le deuxième tube, on obtiendra une dilution de 3/10 ou 10^{-3} .
- Préparer 4 tubes à essai vide stériles dont on introduit dans les deux (2) premiers tubes 1ml de la dilution mère ou 10^{-1} .et dans les deux (2) autres la dilution 10^{-2} .

I.6.1. Recherche et dénombrement des moisissures

Les moisissures sont des champignons filamenteux, aérobie, acidophile (pH=3 à 7) et mésophile, se développent sur les aliments à faible activité d'eau. (JO n° 35/1998).

❖ Principe

Pour l'isolement des levures et moisissures, on utilise le milieu sélectif OGA (gélose glucosée additionnée d'un antibiotique sélectif « oxytétracycline »).

❖ Mode opératoire

➤ Préparation du milieu

Fondre préalablement un flacon de gélose OGA dans un autoclave, puis le refroidir à 45°C et couler dans 3 boîtes de pétri et laisser solidifier sur pailleasse.

➤ Ensemencement

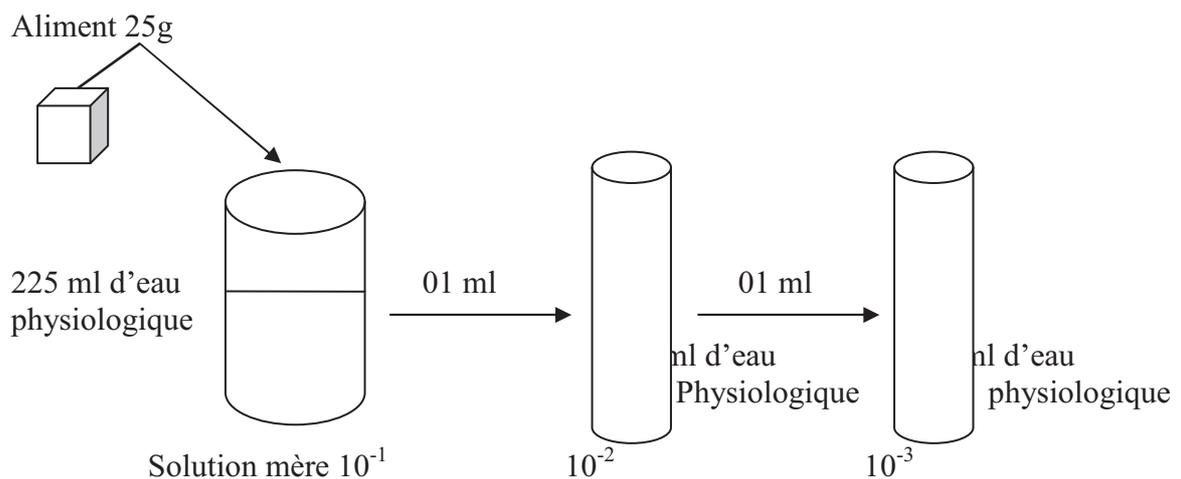
- La technique d'ensemencement en surface c'est-à-dire 4 gouttes de chaque dilution 10^{-1} , 10^{-2} et 10^{-3} , sont mises sur une surface solide OGA. (Voir la figure 06)
- Étaler à l'aide d'un râteau en verre stérile pour chacune des boîtes.
- Deux autres boîtes de pétri sont considérées comme témoin de OGA et de TSE (ensemencement en surface après avoir mis 4 gouttes de TSE).

➤ Incubation

- Incubation des boîtes à 20-25°C pendant 5 jours.

➤ Lecture

- Les colonies sont épaisses, pigmentées ou non parfois envahissantes.
- Le comptage se fait sur les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies et le nombre trouvé est multiplié par l'inverse de la dilution.



Incubation des boîtes à 20-25°C pendant 5 jours.

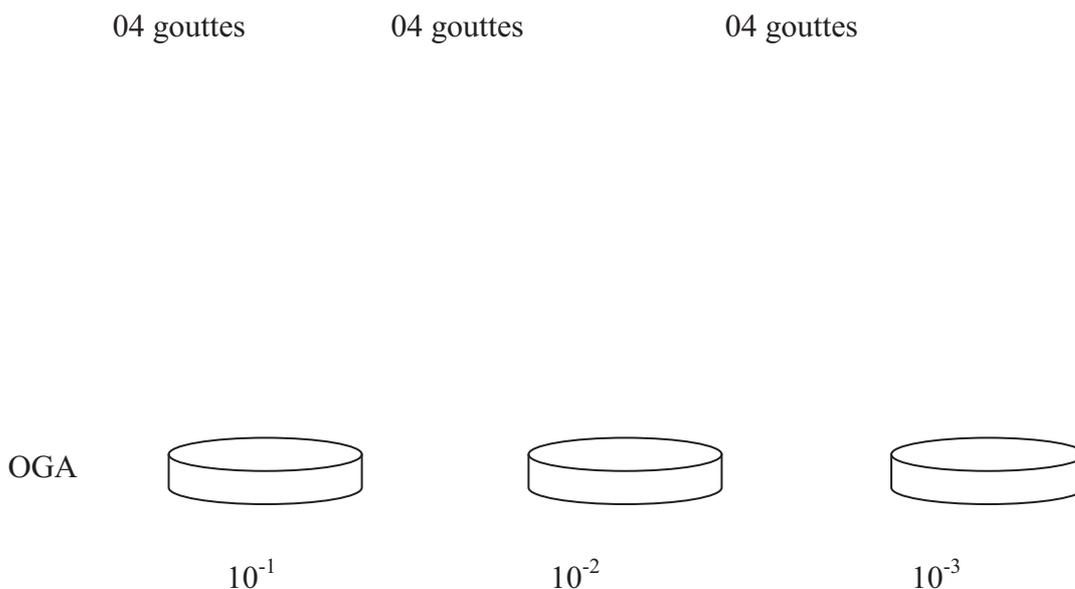


Figure 06 : recherche et dénombrement des moisissures (original)

I.6.2. Recherche des spores de *Clostridium Sulfito-Réducteurs* (ISO 66 49 1991)

Les *Clostridium*s appartiennent à la famille *Clostridiaceae*, ce sont des Grams positifs, anaérobies strictes, groupés en chênnettes mobiles ou non (par ciliature périctriche), très résistants car sporulés.

Le *Clostridium Sulfito-Réducteur* est un bacille de longueur de 3 à 4 µm et d'une largeur de 1 µm, isolé ou en courtes chênnettes, immobile, capsulé, sporulé (spore de grande taille, ovale centrale ou subterminale), la culture se fait sur gélose au sang de mouton réalisé en anaérobiose.

On les appelle *Sulfito-Réducteurs* car ils sont capables de réduire le sulfite en sulfure.

❖ Principe

Le *Clostridium Sulfito-Réducteur* est mis en évidence en utilisant la gélose viande foie (VF) auquel on ajoute le Sulfite de sodium (milieu sélectif des *Clostridium*s qui réduisent le

sulfite en sulfure) et alun de fer qui permette la formation d'un complexe noir entre le fer et le sulfure réduit par les *Clostridium*s.

❖ Mode opératoire

➤ Préparation du milieu

- Fondre un flacon de gélose de VF, le refroidir dans un bain d'eau à 45°C et ajouter une ampoule d'Alun de fer et une ampoule de sulfite de sodium.
- Mélanger soigneusement et aseptiquement.
- Le milieu est ainsi prêt à l'emploi, mais il faut le maintenir dans une étuve à 45°C jusqu'au moment de l'utilisation.

➤ Ensemencement

Les tubes contenant les dilutions 10^{-1} et 10^{-2} seront soumis :

- D'abord à un chauffage à 80°C pendant 10 minutes ;
- Puis à un refroidissement immédiat à l'eau de robinet, dans le but d'éliminer la forme végétative et garder uniquement la forme sporulée.
- A partir de ces dilutions, porter aseptiquement 1 ml de chaque dilution en double dans deux tubes à vis stérile de 16 mm de diamètre, puis ajouter environ 15 ml de gélose VF prête à l'emploi dans chaque tube. (voir figure 07)
- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes.

➤ Incubation

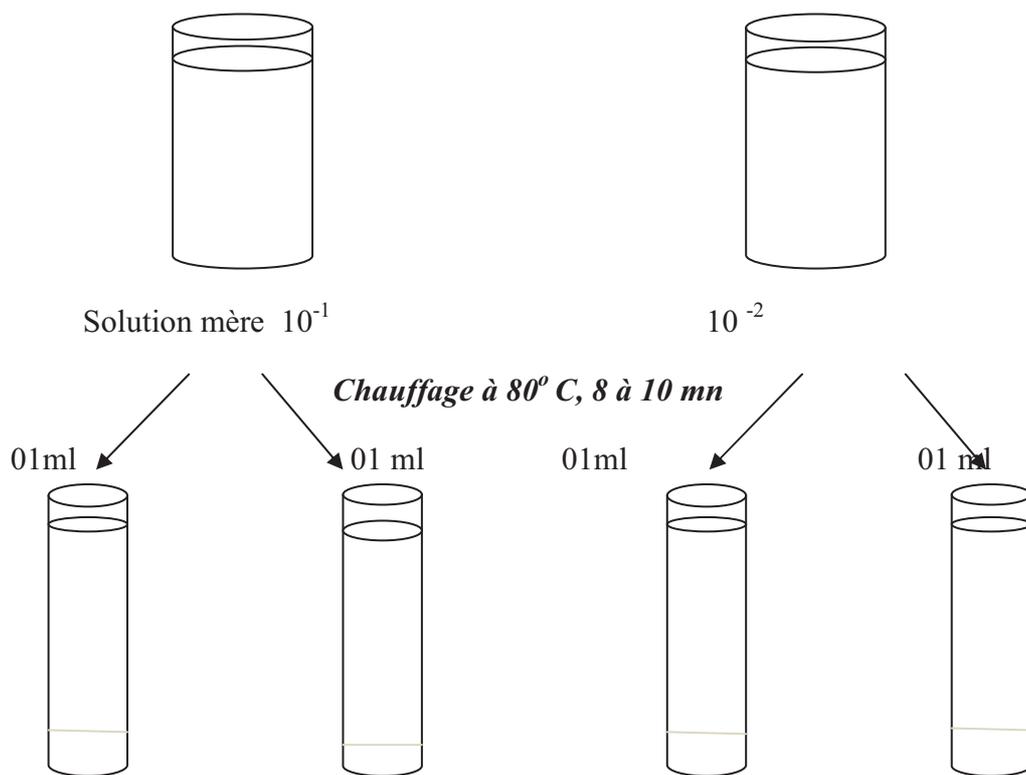
- Incuber le tube à 37°C pendant 16 à 24 heures ou au plus tard 48 heures.

➤ Lecture

La première lecture doit se faire impérativement à 16 heures car :

- D'une part les colonies de *Clostridium Sulfito-Réducteur* sont envahissantes auquel cas on se trouverait en face d'un tube complètement noir rendant alors l'interprétation difficile voire impossible et l'analyse est à refaire.
- D'autre part il faut absolument repérer toute colonie noire ayant poussée en masse et d'un diamètre supérieur à 0,5 mm.

Dans le cas où il n'y'a pas de colonies caractéristiques ré-incuber le tube et effectuer une deuxième lecture au bout de 24 heures voire 48 heures.



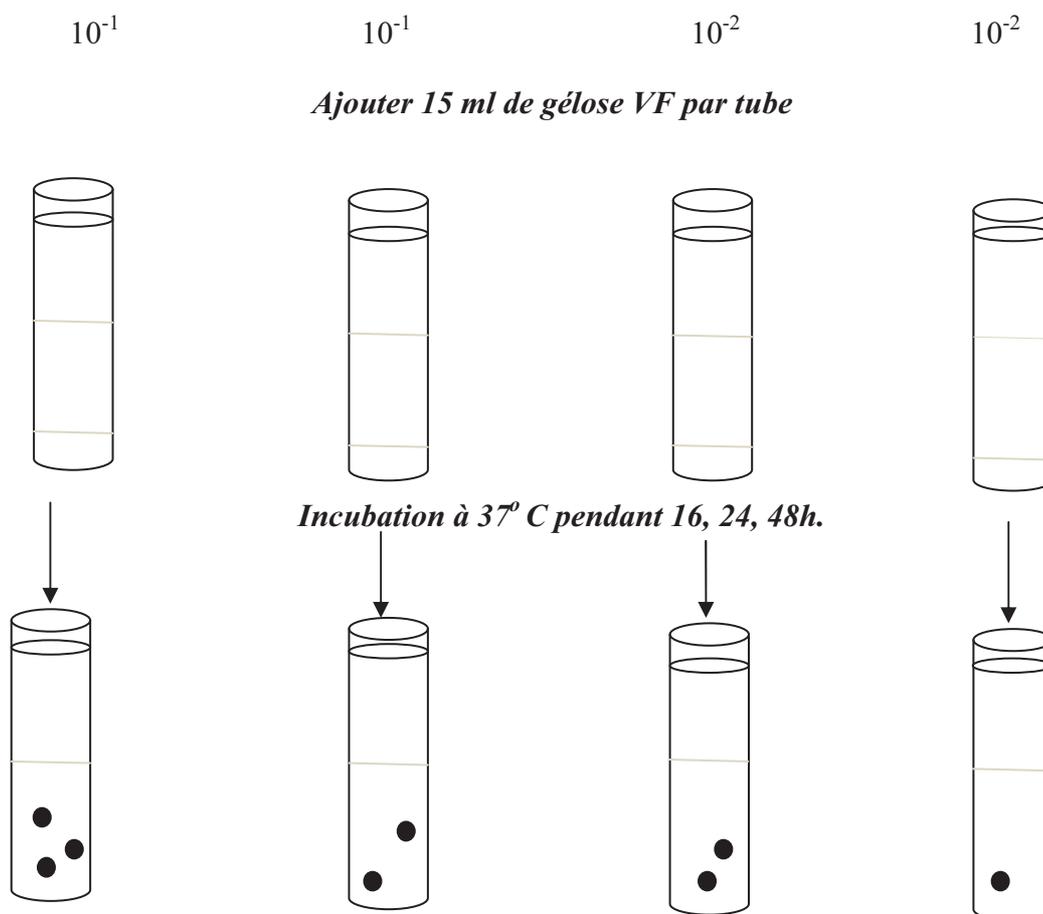


Figure 07 : recherche des spores de Clostridium Sulfito-Réducteurs (original)

I.7. Analyses organoleptiques de couscous cuit

La dégustation a été réalisée par un groupe de 30 personnes de différents sexes et âges. Les caractères organoleptiques ont été évalués séparément. Chaque dégustateur a donné son jugement séparément des autres et a porté son avis sur une fiche de dégustation (annexe°6). Seules les grandes classes sensorielles ont été définies : Aspect, couleur, odeur et goût.

I.8. Analyses statistiques

Dans le but de déterminer les valeurs moyennes des résultats obtenus et les écarts type, nous avons appliqué les formules des calculs statistiques (Annexe 3).

Pour déterminer la présence de l'effet significatif ou pas dans notre sujet intitulé «caractérisations physico-chimiques et organoleptiques de deux types de couscous et de deux procédés de fabrication » nous avons procédé à une analyse de la variance ANOVA avec le logiciel STAT-ITCF.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

II.1. Analyses physico-chimiques

II.1.1. Analyses des grains

II.1.1. 1. Masse à hectolitre (Poids Spécifique)

Les résultats du poids spécifiques sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°9 : Poids spécifique de Blé dur et de l'Orge.

	Le poids spécifique (kg/h)	Norme (NA)
<i>Blé dur</i>	82.85 ± 0.05	≥ 78
<i>Orge</i>	65.85 ± 0.15	> 62

Le poids spécifiques du Blé dur et d'Orge sont respectivement de (82,85 et 65,85 kg/hl) ce qui donnerait un rendement appréciable en semoule. La norme Algérienne précise un poids spécifique supérieur ou égale à 78 Kg/hl pour le Blé dur et de 62 Kg/hl pour l'Orge. D'après le tableau les résultats obtenus sont conformes à la norme,

II.1.1. 2. Poids de 1000 grains

Les résultats du poids de 1000 grains sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°10 : PMG du Blé dur et de l'Orge

	Le poids de 1000 grains (PMG)	Norme (NA)
<i>Blé dur</i>	40.67 ± 0.03	45
<i>Orge</i>	32.98 ± 0.16	40-50

Le PMG est de 40,67 pour les grains du Blé dur et de 32,98 pour les grains d'Orge. Considéré comme un facteur déterminant du rendement semoulier des grains, il est selon la norme Algérienne de 45g pour le Blé dur et entre 40-50g pour l'Orge. D'après le tableau ; les résultats obtenus dans les deux cas (blé dur ou orge) sont conformes à la norme. Nos valeurs sont assez élevées, qui nous permet d'affirmer que notre Blé dur et Orge possèdent de gros grains.

II.1.1. 3. Teneur en eau

Les résultats de la teneur en eau sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°11 : La teneur en eau du Blé dur et de l'Orge

	Humidité (%)	Norme
<i>Blé dur</i>	8.86 ± 0.03	<14
<i>Orge</i>	12.96 ± 0.45	

La teneur en eau des grains du blé dur est de 8.86% et celle de l'orge est de 12.96% et dans les deux cas les grains sont secs ce qui est bon pour l'extraction de la semoule et assure une bonne conservation contrairement aux grains humides. D'après le tableau, la teneur en eau des deux échantillons étudiés est conforme à la norme. Plus l'humidité est faible, meilleure est la conservation.

La détermination de la teneur en eau des grains est nécessaire avant l'extraction, elle permet de préciser la quantité d'eau dans les grains afin de l'amener à 17% (humidité nécessaire pour avoir un bon rendement en semoule). Ce qui donne un bon rendement en semoule.

II.1.1. 4. Taux de cendre

Les résultats du taux de cendre sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°12 : Les résultats du taux de cendre du Blé dur et de l'Orge.

	Taux de cendre (%)	Norme (NA)
<i>Blé dur</i>	1.57 ± 0.02	1.6 – 2.1
<i>Orge</i>	1.67 ± 0.03	

Le taux de cendres des grains de Blé dur est de 1,57 et de 1.67% pour l'orge. D'après le tableau, les résultats obtenus sont conformes à la norme.

La teneur des grains en matière minérale ainsi que la composition de ces matières minérales sont relativement fixés quelles que soient les conditions externes de culture (**Godon et Willm, 1998**).

II.1.1. 5. Teneur en protéines totales

Les résultats de la teneur en protéine sont représentés dans le tableau suivant

Tableau n°13 : Les résultats de la teneur en protéine du Blé dur et d'Orge.

	Teneur en protéine (%)	Norme (NA)
<i>Blé dur</i>	12.47 ± 0.02	10- 12.5
<i>Orge</i>	10.87 ± 0.02	11.5

Le blé dur présente une teneur importante en protéine 12.47% et les grains d'orge contient 10.87% ce qui donne par la suite des semoules de bonne qualité. D'après le tableau les résultants de teneur en protéines totales des grains analysés sont conformes à la norme.

La teneur en protéines des grains varie selon la variété et en fonction des conditions de culture, la teneur en protéines jouent un rôle important dans la qualité rhéologique des semoules parce que c'est à partir de cette fraction que se forme le gluten, donc plus la teneur en protéines des grains est importante, plus la qualité des semoules obtenues est meilleure.

II.1.2. Analyses des semoule « blé dur et l'orge »

II.1.2.1. Granulométrie

Les résultats de la granulométrie des semoules sont représentés par la figure suivante :

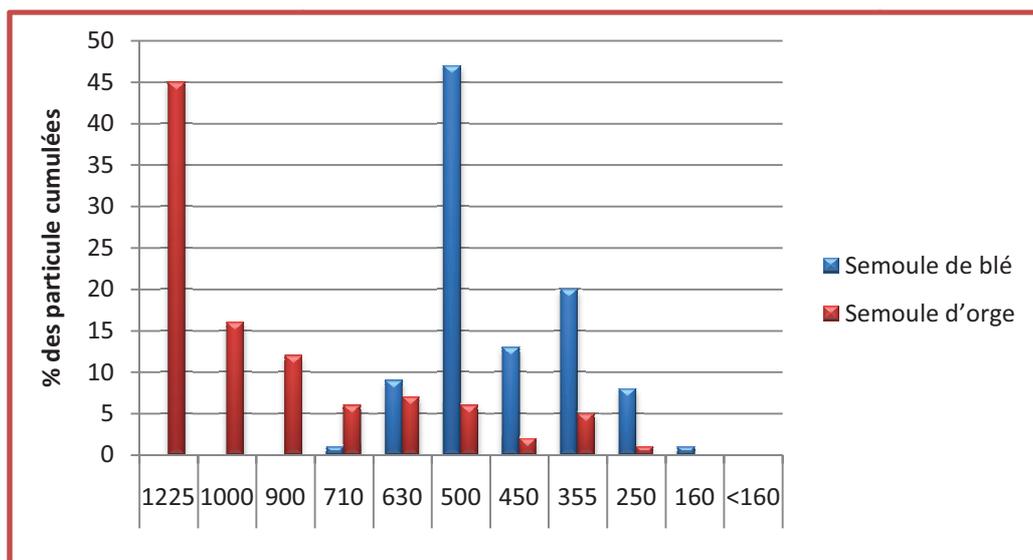


Figure 08 : Granulométrie

e des semoules (blé dur et l'orge)

La semoule de blé dur et d'orge ont une granulométrie plus ou moins homogène, la taille des particules des semoules de blé dur varie entre 500 μm et 355 μm alors que celle des semoules d'orge varie entre 1225 μm et 900 μm , néanmoins pour la fabrication de Couscous il est nécessaire de maintenir un taux bas de semoule fine pour favoriser le roulage du Couscous.

Les particules de la semoule de blé dur ont une taille fine (500 μm et 355 μm) par rapport à celles de semoule d'orge (1225 μm et 900 μm), cette différence est expliquée par la technique de broyage utilisée. Concernant le blé dur le broyage effectué est industriel par contre l'orge est broyé manuellement par fragmentation sur meules (artisanal) qui a engendré des particules plus en moins grosses

Le couscous fabriqué à partir de semoules fines a un meilleur aspect. Les grains de couscous obtenus se caractérisent par : un aspect lisse et grains ronds, l'absorption d'eau est plus rapide, le couscous obtenu au roulage est plus fin, le volume spécifique après cuisson et séchage est plus élevé (**Anonyme, 1996**).

Durant l'étape du malaxage la semoule fine absorbe plus d'eau que la moyenne et grosse. Cette force d'absorption n'entraîne pas une augmentation de la production du Couscous, car la semoule fine durant l'hydratation forme un taux élevé de (boules) qui diminuent le rendement en Couscous (**Anonyme, 2008**).

II.1.2.2. Teneur en eau

Les résultats de la teneur en eau sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°14 : La teneur en eau des semoules

	Humidité (%)	Norme (NA)
<i>Blé dur</i>	13.87 \pm 0.02	<14
<i>Orge</i>	12.59 \pm 0.24	

L'humidité de semoule de blé dur est élevée 13.87% par rapport à celle de semoule d'orge 12.59%, car les grains de blé dur ont subi un mouillage intensif et automatique avec un temps de repos limite (12h maximum), par contre, l'orge a été broyé directement.

D'après le tableau, la teneur en eau des échantillons des semoules de blé dur et d'orge est conforme à la norme ; assurant le bon conditionnement du produit fini. En règle générale, plus l'humidité est faible, meilleure est la conservation.

II.1.2.3. Taux de cendre

Les résultats du taux de cendre sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°15 : Les résultats du taux de cendre des semoules.

	Taux de cendre (%)	Norme (NF)
<i>Blé dur</i>	0.83 ± 0.01	1.6 – 2.1
<i>Orge</i>	1.50 ± 0.01	

Le taux de cendre de la semoule de blé dur elle est de 0.83%, et 1,50% pour la semoule d'orge. D'après le tableau, la matière minérale dans la semoule de Blé dur analysée est acceptable et conforme à la norme, par contre de la semoule d'orge est un peu élevé, cela est du à la mouture brutale par fragmentation sur meules (artisanal) qui a engendré la brisure du son et favorisé par le taux d'humidité très bas.

II.1.2.4. Teneur en protéines totales

Les résultats de la teneur en protéine sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°16 : Les résultats de la teneur en protéines des semoules.

	Teneur en protéine (%)	Norme (NF)
<i>Blé dur</i>	11.15 ± 0.02	9 – 15
<i>Orge</i>	11.95 ± 0.02	

La teneur en protéine est de 11.15% pour la semoule de blé dur et de 11.95% pour la semoule d'orge. D'après le tableau, la teneur en protéines des échantillons analysés est conforme à la norme.

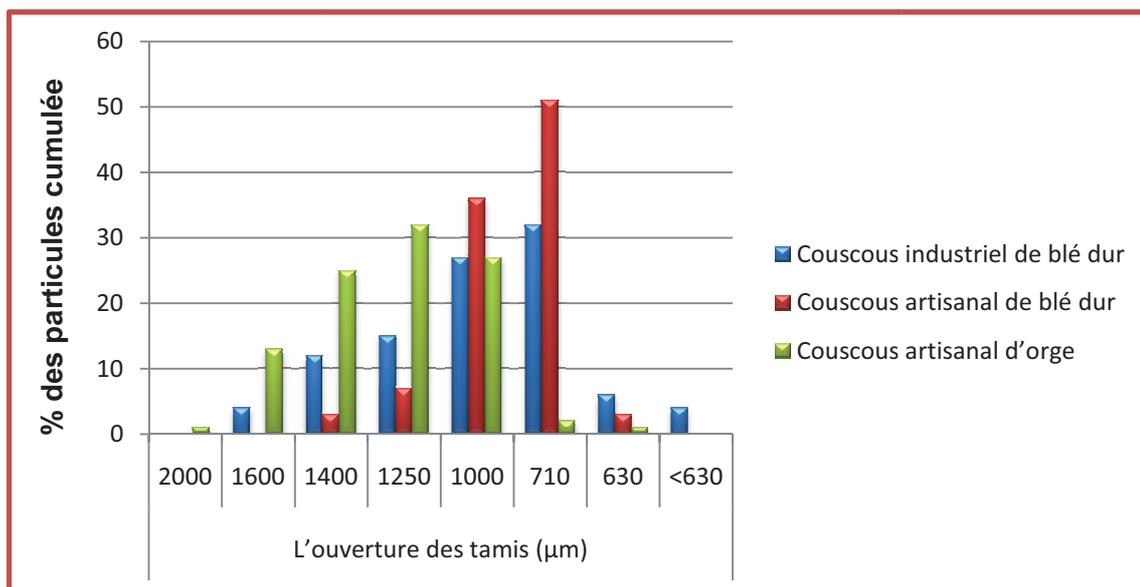
Les protéines de la semoule jouent un rôle prépondérant dans la détermination des propriétés rhéologiques et de la qualité des produits finis (**Dexter et Matsuo, 1977**). La teneur en protéines des semoules varie de 9-15 selon les conditions de culture et en fonction de la variété.

II.1.3. Analyses de produit fini (couscous)

II.1.3.1. Granulométrie

Les résultats de la granulométrie des couscous sont représentés par la figure suivante :

Figure 09 : granulométrie de couscous



Le couscous de blé dur artisanal et industriel présente une granulométrie variée entre 1000 et 710 μm dont la valeur la plus élevée est marquée dans le cas artisanal (la taille de 51% des particules est de 710 μm), par contre dans le cas du couscous d'orge la granulométrie est variée entre 1250 et 1000 μm (la taille de 32% des particules est de 1250 μm).

La différence entre la granulométrie du couscous industriel et celle du couscous artisanal de blé dur s'explique par l'utilisation des semoules grossières pour le couscous artisanal et ainsi que les conditions de roulage sont totalement différentes.

Dans le cas des deux types de couscous artisanal (du blé dur et d'orge) on remarque qu'il y a une grande différence dans la granulométrie des particules, ceci est expliqué par l'utilisation des semoules grossières dans le cas du couscous d'orge (granulométrie des semoules différentes).

La granulométrie du couscous et son homogénéité sont considérées parmi les paramètres essentiels qui définissent sa qualité pour la majorité des consommateurs (**Guezlane, 1993 ; Yousfi, 2002**).

Ainsi, la granulométrie a un effet évident sur sa qualité culinaire notamment le gain de poids (absorption) et le temps de cuisson (**Angar et Belhouche, 2002**).

II.1.3.2. Teneur en eau

Les résultats de la teneur en eau sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°17 : La teneur en eau des couscous

	Humidité (%)	Norme (NA)
<i>Couscous industriel de blé dur</i>	12.52 ± 0.03	≤13
<i>Couscous artisanal de blé dur</i>	10.80 ± 0.03	
<i>Couscous artisanal d'Orge</i>	8 ± 0.01	

L'humidité varie entre 8% pour le couscous d'orge, 10.80% pour le couscous artisanal et elle est de 12.52% pour le couscous industriel de blé dur. D'après le tableau, la teneur en eau des couscous est conforme à la norme.

L'humidité de couscous artisanal de blé dur est inférieure à celle de couscous industriel, cela peut être dû au double séchage effectué à l'air libre à l'ombre puis au soleil. Par contre, celui de couscous industriel l'humidité est peu élevée (12.52%) est fait dans des séchoirs dont les facteurs température et temps sont contrôlés.

On comparant l'humidité des couscous de la fabrication artisanal ; le couscous d'orge a une humidité inférieure à celle du blé dur cette différence due à la composition biochimique de l'orge qui perd son eau au cours de la transformation en semoule, plus l'intervention des conditions de séchage.

L'étude statistique de l'humidité a indiqué que :

- ❖ L'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif ($p= 0.0001 < 0.01$), de la variation du type de procédé de fabrication du couscous de blé dur sur la teneur en eau.
- ❖ L'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif ($p= 0.0002 < 0.01$), de la variation du type de céréale sur la teneur en eau du couscous. (Annexe 03)

II.1.3.3. Taux de cendre

Les résultats du taux de cendre sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°18 : Les résultats du taux de cendre des semoules.

	Taux de cendre (%)	Norme (NA)
<i>Couscous industriel de blé dur</i>	0.91 ± 0.007	0.9 – 1.1
<i>Couscous artisanal de blé dur</i>	1.93 ± 0.01	
<i>Couscous artisanal d'Orge</i>	1.99 ± 0.007	

Le taux de cendres des couscous de fabrication artisanal (blé dur et orge) est compris entre 1,93 % et 1,99 %. Nous constatons que ce taux augmente avec l'augmentation de la granulométrie et il est nettement supérieur à celui de la semoule. Ce résultat concorde avec celui des travaux de **Angar et Belhouchet (2002)**. **Guezlane et al. (1986)** qui ont souligné qu'une nette augmentation du taux de cendres est enregistrée sur les couscous par rapport aux semoules dont ils sont issus, et elle est due à l'apport des éléments minéraux contenus dans l'eau ajoutée au stade de roulage. D'après le tableau, les résultats est conforme à la norme.

II.1.3. 4. Teneur en protéines totales

Les résultats de la teneur en protéine sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°19 : Les résultats de la teneur en protéines des couscous.

	Teneur en protéines (%)	Norme (NA)
<i>Couscous industriel de blé dur</i>	11.28 ± 0.04	≥10,5
<i>Couscous artisanal de blé dur</i>	11.25 ± 0.01	
<i>Couscous artisanal d'Orge</i>	12.06 ± 0.05	

La teneur en protéine des couscous est de 11.28% pour le couscous industriel de blé dur et de 11,25% pour le couscous artisanal de blé dur et 12.06% pour le couscous artisanal d'orge. D'après le tableau, la teneur en protéines des couscous est conforme à la norme.

La teneur en protéine du couscous artisanal de blé dur est proche de celle du couscous artisanal de blé dur, nous constatons que pour des couscous de même origine, la teneur en protéine est similaire.

La teneur en protéine du couscous artisanal d'orge est élevée par rapport à celle du couscous artisanal de blé dur, cette dernière est due a la richesse de la semoule d'orge utilisée dans la fabrication de ce couscous, alors que la semoule du blé dur utilisée est pure « dépourvue des enveloppes et du germe » cela est expliqué par les travaux de **Guezelane (1993)**, qui a montré que la teneur en protéines augmente en allant de l'albumen central vers l'albumen périphérique.

Les protéines jouent un rôle important et fondamental dans l'expression de la qualité culinaire des pâtes et du couscous.

II.2. Analyses technologique

II.2.1. Analyses des semoules « blé dur et l'orge »

II.2.1.1. Teneur en gluten

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau n°20 : teneur en gluten de la semoule de blé dur

	Teneur en gluten humide (%)	Teneur en gluten sec (%)
<i>Semoule de blé dur</i>	28.87 ± 0.03	12.31 ± 0.01
<i>Norme (NA)</i>	27 – 37	11 – 13

La semoule de blé dur présente 28.87% du gluten humide et 12.31% de gluten sec, cela indique que cette dernière a une bonne qualité culinaire. D'après le tableau, le résultat est conforme à la norme.

Pour ce qui est de la semoule de l'orge, la teneur en gluten est probablement inférieure à celle de la semoule de blé dur et cela est jugé théoriquement en raison des difficultés trouvées lors de son extraction manuelle.

➤ Capacité d'hydratation

Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°21 : capacité d'hydratation de la semoule de Blé dur

	coefficient d'hydratation (%)	Norme (NA)
<i>Semoule de Blé dur</i>	57.36 ± 0.025	50 – 70

La capacité d'hydratation de la semoule de Blé dur est de 57,36%, cette valeur est conforme à la norme, il est à souligner que ce dernier est déterminé dans le but de préciser le taux d'hydratation des semoules lors de la fabrication des pâtes alimentaires ou du couscous et pour régler le débit d'eau.

II.2.2. Analyses de produit fini (couscous)

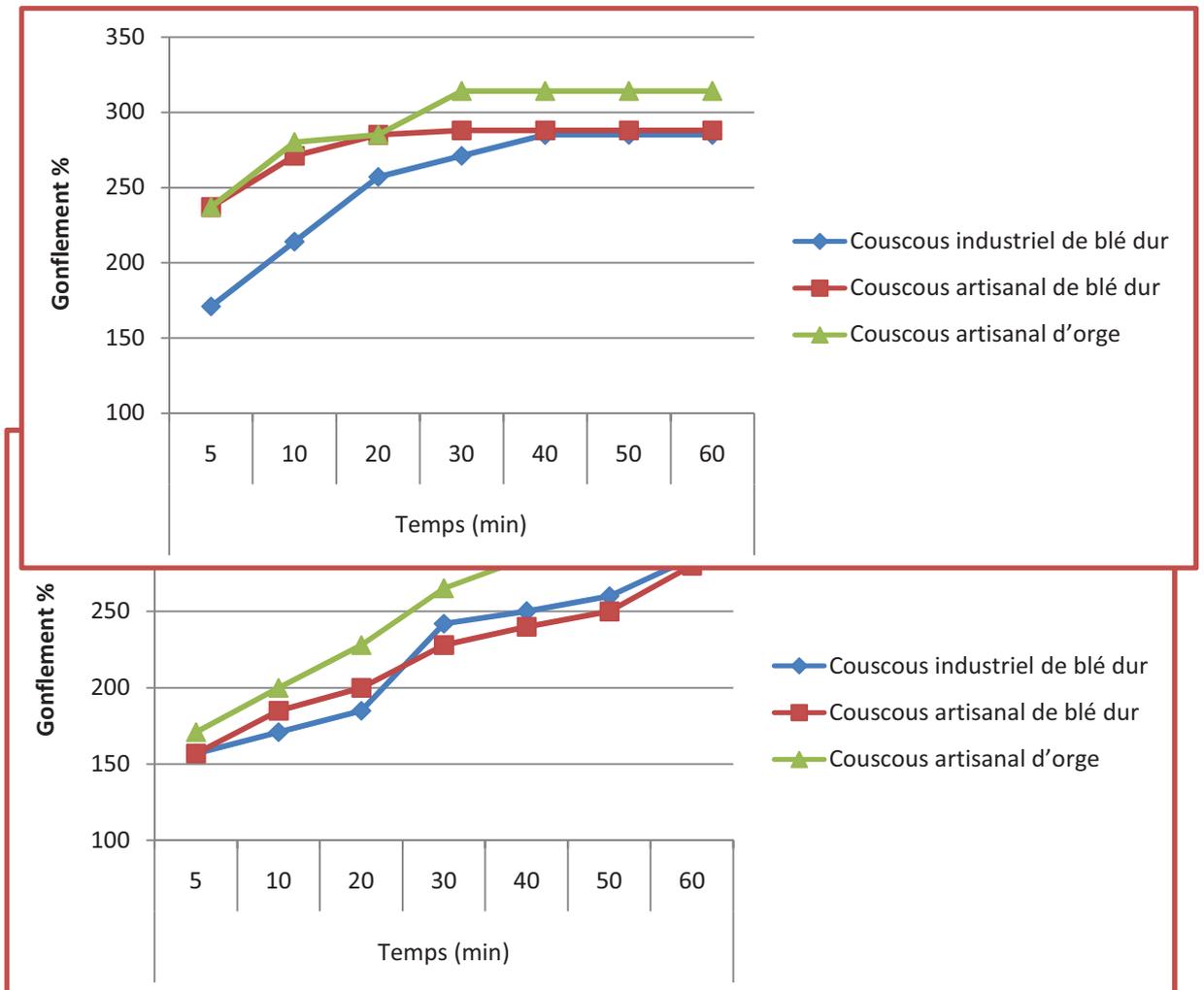
II.2.2.1. Le gonflement à froid et à chaud

La détermination de l'indice de gonflement à 25C° et à 100C° figure parmi les critères d'appréciation de la qualité culinaire du Couscous.

Les résultats de gonflement à froid des couscous sont présentés par la figure suivant:

Figure 10 : gonflement à froid des couscous

On comparant le couscous industriel à celui artisanal, les résultats de l'analyse du



gonflement à froid montrent que le couscous artisanal de blé dur présente un gonflement proche à celui du couscous industriel. Ils sont de 157% après 5min et atteint 285% pour couscous industriel de blé dur et 280% pour couscous artisanal après 1h.

On comparant le couscous de fabrication artisanal de blé dur et d'orge, le gonflement à froid du couscous à base d'orge est le meilleur, il atteint 171% après 5min (157% pour le couscous de blé dur) et de 300% après 1h (280% pour le couscous de blé dur) car l'orge il est riche en fibre qui peuvent gonfler en absorbant jusqu'à 20 fois leur poids d'eau.

Les résultats de gonflement à chaud des couscous sont présenté dans la figure suivant :

Figure 11 : gonflement à chaud des couscous

On comparant le gonflement à froid des échantillons à celui à chaud, on remarque que la vitesse du gonflement à chaud est plus rapide ceci s'explique par le bouleversement de la structure native de l'amidon en se gélant à 100°C et devient plus hydrophile et accroître la capacité de gonflement. (Annexe 05)

Les résultats de l'analyse du gonflement à chaud montrent que le gonflement des couscous artisanaux (blé dur et orge) est le meilleur, il est de 237% après 5min et atteint 288% pour couscous de blé dur et 314% pour couscous d'orge après 1h.

Le test de gonflement à froid et à chaud de Couscous est un critère de qualité, il est contrôlé toute les 2 heures dans les usines pour déterminer la capacité de gonflement du Couscous.

L'indice de gonflement est élevé aux basses températures (séchage) jusqu'à atteindre un maximum (**Badaoui, 1984**).

Un traitement thermique très élevé conduit à l'hydrolyse partielle des molécules constituante de l'amidon, il y aura donc une diminution du gonflement des granulés d'amidon (**Cheftel, 1992**).

II.2.2.2. La prise en masse du couscous cuit (IPMT)

Les résultats de la prise en masse des couscous cuit sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°22 : la prise en masse du couscous cuit

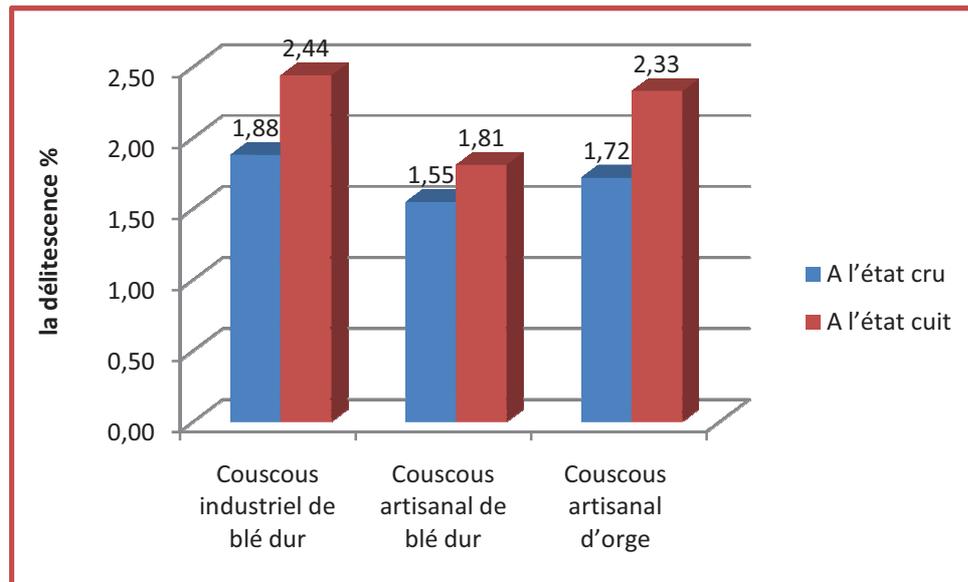
	IPMT (%)
Couscous industriel de blé dur	37.5 ± 0.71
Couscous artisanal de blé dur	23.75 ± 0.35
Couscous artisanal d'orge	15.25 ± 1.06

La prise en masse de couscous constitue une des caractéristiques principales de la qualité organoleptique du couscous cuit et représente un facteur déterminant de sa qualité culinaire.

Les résultats obtenus montrent que la masse du couscous industriel de blé dur (37.5%) est supérieure à celle des couscous de la fabrication artisanal (23.75% pour le couscous de blé dur et 15.25% pour le couscous d'orge), cela est dû aux opérations de précuisson et du séchage qui sont différentes.

L'état d'agglomération augmente avec l'augmentation de la température de séchage.

L'étude



statistique de la IPMT à indiqué que :

- ❖ L'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif ($p= 0.001 < 0.01$), de la variation du type de procédé de fabrication du couscous de blé dur sur la prise en masse du couscous cuit. (Annexe 03)
- ❖ L'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif ($p= 0.006 < 0.01$), de la variation du type de céréale sur la prise en masse du couscous cuit.

II.2.2.3. Délitescence

La désagrégation du couscous est un facteur important pour la détermination de la qualité culinaire de couscous (Yettou, 1998). Les résultats de désagrégation des échantillons de couscous sont représentés dans la figure suivante :

Figure 12 : La délitescence du couscous à l'état cru et cuit

Les couscous de la fabrication artisanale présentent la délitescence la plus faible 1.55% à l'état cru et 1.81% à l'état cuit pour le couscous de blé dur est de 1.72% à l'état cru et 2.33% à l'état pour le couscous d'orge, alors que la délitescence du couscous industriel est de 1.88% à l'état cru et 2.40% à l'état cuit, ce résultat s'explique par la température de séchage qui est trop élevée dans le procédé industriel (zone1 : 133.4°C et zone 2 : 125.3°C) alors que pour le procédé artisanal le séchage s'effectue à température ambiante.

On comparant la délitescence à l'état cru et celui à l'état cuit, on remarque que la délitescence à l'état cuit est beaucoup plus faible que celle à l'état cru.

L'évolution de la température de séchage augmente proportionnellement le degré de délitescence du couscous (**Badaoui, 1984**).

L'étude statistique de la délitescence à l'état cru et à l'état cuit à indiqué que :

- ❖ L'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif ($p= 0.008$ à l'état cru et $p=0.0005$ à l'état cuit < 0.01), de la variation du type de procédé de fabrication du couscous de blé dur sur la délitescence à l'état cru et cuit.
- ❖ L'analyse de la variance a montré un effet significatif ($p= 0.01 < 0.05$), de la variation du type de céréale sur la délitescence à l'état cru, et un effet hautement significatif ($p=0.0008 < 0.01$) à l'état cuit. (Annexe 03)

II.2.2. 4. Test de cuisson

Le tableau ci-dessous représente les résultats du test de cuisson des différents couscous :

Tableau n°23 : Résultats du test de cuisson des trois couscous.

	<i>Teste de cuisson</i>		
	<i>Couscous industriel de blé dur</i>	<i>Couscous artisanal de blé dur</i>	<i>Couscous artisanal d'orge</i>
<i>Temps de cuisson</i>	18	18	20
<i>Poids initial</i>	100g	100g	100g

<i>Poids final</i>	254	237	247
<i>Comportement lors de la réhydratation</i>	Particules non collantes, présentant un bon gonflement	Particules non collantes, présentant un bon gonflement	Particules non collantes, présentant un bon gonflement
<i>Granulométrie Observée</i>	Uniforme	Très uniforme	Très Uniforme

Les couscous de blé dur (industriel et artisanal) ont la même durée de cuisson (18min), alors que le couscous artisanal d'orge prend plus de temps pour une bonne cuisson (20min).

Le couscous industriel de blé dur analysé présente des propriétés proches à celles du couscous artisanal. Il n'est pas collant, le degré d'individualisation des grains est satisfaisant et le gonflement est élevé ce qui sera traduit par une bonne absorption de la sauce, ces propriétés le rendent très apprécié par les consommateurs qui deviendront incapables de différencier entre le couscous industriel et celui artisanal, seul les spécialistes peuvent faire la différence.

Le couscous d'orge prend plus de temps pour une bonne cuisson si on le compare avec le couscous artisanal de blé dur, cette différence peut être expliquée par la granulométrie et le taux des fibres élevé dans le couscous d'orge.

II.3. Résultats des analyses microbiologiques

➤ Matière première

Les résultats des analyses microbiologiques des semoules sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°24 : Résultats des analyses microbiologiques des semoules

	<i>Résultats des analyses microbiologiques</i>	
	<i>Moisissures</i>	<i>Clostridium Sulfito-Réducteurs</i>
<i>Norme Algérienne</i>	≤ 100 germe / ml	≤ 100 germe / ml
<i>La semoule de blé dur</i>	<i>Absence</i>	<i>Absence</i>

<i>La semoule d'orge</i>	<i>Absence</i>	<i>Absence</i>
--------------------------	----------------	----------------

Les analyses microbiologiques effectuées une semaine après l'élaboration des produits finis montrent que les échantillons analysés ne contiennent pas de germes. Une absence totale des Moisissures et des *Clostridium Sulfito-réducteurs* est observée, donc on peut dire que les produits présentent une bonne qualité microbiologique.

➤ **Produit fini (couscous)**

Les résultats des analyses microbiologiques des couscous sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°25 : Résultats des analyses microbiologiques des couscous :

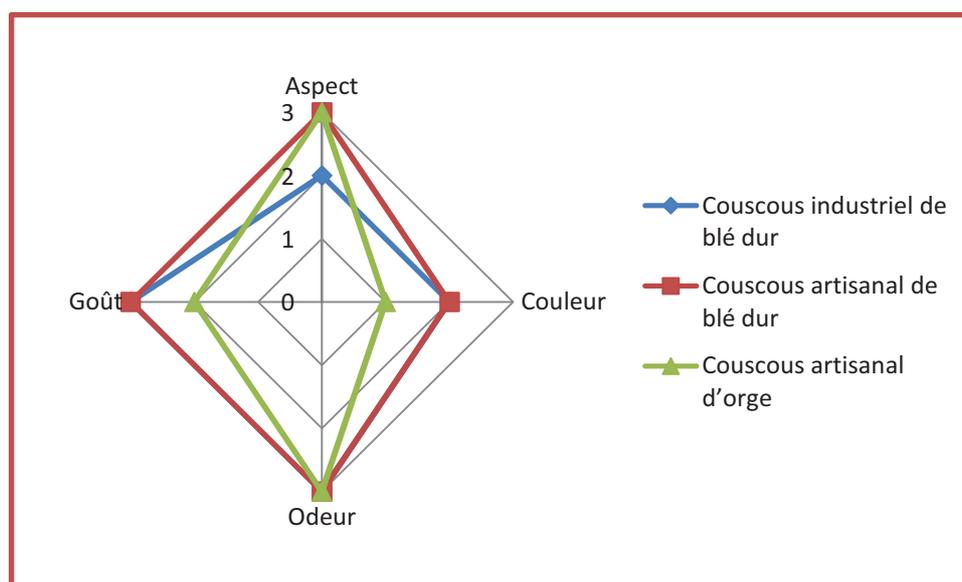
	<i>Résultats des analyses microbiologiques</i>	
	<i>Moisissures</i>	<i>Clostridium Sulfito-Réducteurs</i>
<i>Norme Algérienne</i>	≤ 100 germe / ml	≤ 100 germe / ml
<i>Couscous industriel de blé dur</i>	<i>Absence</i>	<i>Absence</i>
<i>Couscous artisanal de blé dur</i>	<i>Absence</i>	<i>Absence</i>
<i>Couscous artisanal d'orge</i>	<i>Absence</i>	<i>Absence</i>

Les analyses microbiologiques effectuées une semaine après l'élaboration des produits finis montrent que les échantillons analysés ne contiennent pas de germes. Une absence totale des Moisissures et des *Clostridium Sulfito-réducteurs* est observée, donc on peut dire que les produits présentent une bonne qualité microbiologique.

II.4. Analyses organoleptiques de couscous cuit

Les résultats des analyses organoleptiques sont présentés par la figure suivante :

13 :
des
La
est
à



**Figure
profils
sensoriels
couscous**

couleur
le premier
paramètre
évaluer

sachant que l'observateur lui accord une très grande importance et ceci pour la qualité et la fabrication d'un produit.

Les résultats de la couleur à été jugé « couleur jaune » pour les deux couscous de blé dur (artisanal et industriel) et « brun » pour le couscous artisanal d'orge.

L'odeur a un impact considérable sur l'appréciation finale du produit, l'évaluation à été jugé « attirante » pour les trois types étudiés.

L'aspect du couscous industriel à été jugé « présence de quelques grumeaux » par contre dans les deux couscous de la fabrication artisanal (blé dur et l'orge) le jugement est « grain homogène »

Le goût des couscous étudiés varient entre à été jugé « excellente » pour le couscous de blé dur (industriel et artisanal) et acceptable pour le couscous artisanal d'orge.



Couscous industriel de blé dur
couscous artisanal de blé dur



Couscous artisanal
d'orge

Figure 14 : Aspect des couscous après cuisson

Discussion générale

Notre travail consiste à déterminer quelle est la différence entre un couscous artisanal et un couscous industriel, ainsi que la caractérisation de couscous l'orge et l'évaluation de sa qualité et sa valeur nutritionnelle.

Les résultats montrent que la teneur en eau du Blé et d'orge ne dépasse pas le seuil fixé par la législation algérienne, donc ces grains auront une grande aptitude au stockage.

La détermination de la teneur en eau des grains est nécessaire avant l'extraction, elle permet de préciser la quantité d'eau dans les grains afin de l'amener à 17% ce qui donne un bon rendement en semoule (**Godon et Willm, 1998**).

De part nos résultats, nous remarquons que la teneur en cendre des grains de Blé et d'orge se rapprochent significativement de la valeur préconisée par (**Godon et Willm., 1991**).

La granulométrie de la semoule a un ensemble d'effets sur les caractéristiques physicochimiques et la qualité culinaire du couscous. De ce fait, il est préférable d'utiliser les semoules de taille aussi homogène que possible de manière à permettre un écoulement facile de la semoule et une hydratation régulière. Ainsi, durant l'étape de malaxage, la semoule fine absorbe plus d'eau que la semoule moyenne et grosse. Il faut rappeler que la semoule fine durant l'hydratation forme un taux élevé de « boules » qui diminuent le rendement du couscous (**Anonyme, 1996**). Les semoules de blé dur et d'orge ont une granulométrie plus ou moins homogène, la taille des particules des semoules de blé dur varie entre 500 µm et 355 µm alors que celle des semoules d'orge varie entre 1225 µm et 900 µm, néanmoins pour la fabrication de Couscous il est nécessaire de maintenir un taux bas de semoule fine pour favoriser le roulage du Couscous.

Concernant l'humidité, les valeurs enregistrées pour les deux semoules sont inférieures à la norme ce qui signifie qu'elles ont été dans de bonnes conditions de stockage. Elles présentent également une bonne aptitude à la conservation.

L'humidité est un facteur crucial dans l'évolution des phénomènes biologiques, son contrôle permet de minimiser les risques d'altération lors du conditionnement et de stockage (**Feillet, 2000**).

Le taux des minéraux de la semoule est en fonction du degré de minéralisation des grains mais surtout des paramètres du conditionnement et du diagramme de mouture (extraction). Le taux de cendres augmente en allant de l'albumen central vers l'albumen périphérique

(Dubois, 1995). Le taux de cendre de la semoule de blé dur elle est de 0.83%, et 1,50% pour la semoule d'orge.

Les protéines de la semoule jouent un rôle important dans la qualité rhéologique des semoules parce que c'est à partir de cette fraction que se forme le gluten.

De ce fait, le taux de protéines de la semoule de blé dur est de l'ordre de 12.06% et selon Zairi (1999), la teneur en protéines d'une même variété est susceptible de changer d'une récolte à l'autre et d'un lieu à l'autre. Par ailleurs, la teneur en protéines de la semoule d'orge est de 11,95% dont Romain et al (2006) ont montrés que certaines protéines du grain d'orge sont localisées dans la couche à aleurone où elles ne subissent pas de transformations, mais la plus part sont situées dans les cellules de l'albumen amylicé.

Le gluten est formé au cours du pétrissage par des liaisons disulfures (interaction hydrophobe) entre les gluténines et les gliadines (protéines), il se caractérise par des propriétés viscoélastiques (élasticité, plasticité, ténacité), il permet à la pâte de gonfler au cours de la cuisson (Cheftel J.C., et Cheftel H., 1992).

Ce qui a été trouvé pour la semoule de blé dur dont les résultats sont conformes aux normes (28.87 % de gluten humide et 12.31% de gluten sec) indiquant que cette semoule présente une bonne qualité culinaire. Pour la semoule d'orge, la teneur en gluten est probablement inférieure à celle de la semoule de blé dur et cela est jugé théoriquement en raison de la composition biochimique du grain d'orge en gluten.

La granulométrie du couscous est un critère important d'évaluation de la qualité du couscous à l'état sec, la régularité et l'homogénéité des particules sont des paramètres désirables par le consommateur. En effet la fabrication artisanale permet d'avoir des particules plus fines et plus homogènes déterminant les propriétés l'absorption du Couscous. Le couscous de blé dur artisanal et industriel présente une granulométrie varie entre 1000 et 710 μm dont la valeur la plus élevé est marquée dans le cas artisanal (la taille de 51% des particules est de 710 μm), par contre dans le cas du couscous d'orge la granulométrie est varie entre 1250 et 1000 μm (la taille de 32% des particules est de 1250 μm).

Les résultats de l'humidité des différents Couscous sont conformes à la norme. Cela signifie que ces derniers ont une bonne aptitude d'être conservé ; ce qui a été dit par Feillet (2000) que l'humidité est un facteur crucial dans l'évolution des phénomènes biologiques, son contrôle permet de minimiser les risques d'altération lors du conditionnement et de stockage.

L'humidité des couscous analysés varie entre 8% pour le couscous d'orge, 10.80% pour le couscous artisanal et elle est de 12.52% pour le couscous industriel de blé dur.

Le couscous d'orge présente un taux de cendres élevé (1.99%) par rapport à celui de blé dur (artisanal 1.93 % et industriel 0.91%), cela est expliqué par la présence de résidu d'enveloppe dans la semoule d'orge utilisée.

La teneur en protéine du couscous artisanal de blé dur (11,25%) est rapprochée à celle du couscous industriel de blé dur (11.28 %), nous constatons que pour des couscous de même origine, la teneur en protéine est similaire.

La teneur en protéine du couscous artisanal d'orge est élevée (12.06%) par rapport à celle du couscous artisanal de blé dur (11,25%), cette dernière est due à la richesse de la semoule d'orge utilisée dans la fabrication de ce couscous, alors que la semoule de blé dur utilisée est pure « dépourvue des enveloppes et du germe » cela est expliqué par les travaux de **Guezlane (1993)**, qui a montré que la teneur en protéines augmente en allant de l'albumen central vers l'albumen périphérique.

L'indice de gonflement dépend à la fois de la durée et les conditions d'applications du traitement hydro-thermique. De ce fait, les Couscous analysée présentent un bon gonflement à chaud ainsi à celui trouvé à froid, ceci s'explique par le bouleversement de la structure narrative de l'amidon (gélatinisation à 100°C) et devient plus hydrophile et accroît la capacité du gonflement **Guezlane (1993)**.

Le couscous industriel présente une délitescence légèrement élevé par rapporte aux couscous de la fabrication artisanal (1.88% à l'état cru et 2.40% à l'état cuit pour le couscous industriel de blé dur, 1.55% à l'état cru et 1.81% à l'état cuit pour le couscous artisanal de blé dur et de 1.72% à l'état cru et 2.33% à l'état cuit pour le couscous d'orge) cette différence est due à la température de séchage qui est trop élevée dans le procédé industriel (zone1 : 133.4°C et zone 2 : 125.3°C) alors que le procédé artisanal le séchage s'effectue à l'air ambiant. Ce qui a été prouvé par **Badaoui (1984)** que l'évolution de la température de séchage augmente proportionnellement le degré de délitescence du couscous, ceci s'explique par l'action de la température de séchage sur le gluten ; le réseau protéique devient trop lâche suite à une dénaturation laisserait s'échapper les granules d'amidon qui contribuent à une perte importante de matières sèches (délitescence) et d'après **Cheftel (1979)**, plus le traitement hygrothermique est poussé, plus les pertes en matières sèches seront importantes.

Concernant le test de cuisson le couscous industriel analysé présente des propriétés proches à celles du couscous artisanal. Il n'est pas collant, le degré d'individualisation des grains est satisfaisant et le gonflement est élevé ce qui sera traduit par une bonne absorption de la sauce, ces propriétés le rend très apprécié par les consommateurs, et ces résultats conviennent à ce qui a été prouvé par **Guezlane (1993)**, qu'un bon couscous doit absorber deux fois son poids d'eau pendant la cuisson et conserve une certaine fermeté et viscoélasticité et ses grains doivent rester bien individualisés sans se déliter ni se coller entre eux.

Les analyses microbiologiques montrent une absence totale des germes pathogènes (*Moisissures et Clostridium Sulfito-Réducteurs*), donc on peut dire que la semoule de blé dur, la semoule d'orge et les trois types de couscous présentent une bonne qualité microbiologique.

Conclusion

Les analyses effectuées sur les échantillons de couscous ont permis de conclure que le couscous industriel de blé dur analysé est d'une qualité acceptable et proche à celle du couscous artisanal de blé dur malgré la différence des conditions et des paramètres de fabrication.

Les analyses effectuées montrent que les deux variétés de couscous possèdent une humidité acceptable et conforme à la norme, ce qui assure un bon stockage et conservation.

La granulométrie du couscous artisanal est plus homogène que celle du couscous industriel cela est due à la facilité de roulage.

Les analyses de la délitescence et le gonflement permettent d'apprécier la qualité culinaire du couscous, les résultats obtenus montrent que le pourcentage du collant est faible dans les deux cas de blé dur (1.88% à l'état cru et 2.40% à l'état cuit pour le couscous industriel et de 1.55% à l'état cru et 1.81% à l'état cuit pour le couscous artisanal), ce qui favorise une bonne individualisation des grains de couscous lors de la réhydratation.

Après le test de cuisson, nous avons constatés que le couscous industriel analysé (couscous MAMA) présente un bon gonflement lors de la réhydratation et une bonne absorption d'eau et surtout il ne colle pas, ce qui permet de dire qu'il est d'une bonne qualité culinaire et proche à celle du couscous artisanal.

Les analyses microbiologiques des échantillons montrent une absence totale des germes pathogènes : *Clostridium Sulfite-Réducteur* ainsi que les levures et moisissures.

Dans notre travail, nous avons essayé aussi de présenter le couscous d'orge, les analyses effectuées ont montrés que sa qualité technologique et culinaire n'est pas trop loin du celle du couscous de blé dur (la délitescence 1.72% à l'état cru et 2.33% à l'état cuit). Ainsi que sa richesse en fibre alimentaires lui donne une grande importance à l'échelle nutritionnelle, les instituts de nutrition révèlent les bienfaits « des fibres et de l'amidon » contenus dans les céréales et notamment dans l'orge qui représente cette fonction « régulatrice » sur la glycémie, la fonction intestinale et le cholestérol sanguin.

Perspectives :

- ❖ Introduire l'orge dans l'alimentation humaine de large consommation.

- ❖ Introduire l'orge dans les gouters d'enfants pour les habituer à ses qualités organoleptiques et remplacer les sucres à absorption rapide.
- ❖ Les fractions céréalières riches en fibres peuvent constituer un aliment d'appoint, facile à incorporer dans les produits diététiques. Ces caractéristiques d'adaptabilité en plus de la facilité de conservation offrent à l'industriel une grande marge de manœuvre.
- ❖ Enfin, il est souhaitable de poursuivre cette étude dans le cadre d'une étude nutritionnelle. Ce qui permettra de déterminer l'efficacité des produits obtenus sur le plan de la nutrition préventive. Rappelez-vous d'ajouter les fibres graduellement à votre alimentation. Passer brusquement d'une alimentation pauvre en fibres à un régime riche en fibres peut provoquer de la constipation et des crampes abdominales

Références bibliographiques

Abecassis,J., 1991 : Industrie des céréales qualité de blé dur N°72, de la semoule et des pâtes alimentaires. pp 232.

Afnor, 1991 : Recueil des normes françaises : Céréales et produits céréaliers.

Alais C., Linden G., Miclo L. 2003 : Biochimie alimentaire : les céréales- le pain, 5^{ème} Ed., Dunod. Paris, p 131.

Amrani M., 2006 : La culture de l'Orge (*Hordeum Vilgare*) Fiche technique de l'Institut Technique des Grandes Culture.

Angar O., Et Belhouchet L., 2002 : Granulométrie du couscous : relation avec quelques paramètres de fabrication et la qualité culinaire. Mémoire d'ingénieur. DNATAA, Université Mentouri Constantine. 53 pages.

Anonyme, 1996 : Effet des procédés de fabrication sur l'expression de la qualité technologique du Couscous de Blé dur. Mémoire. Ing. I.N.A. El Harrach. p83.

Anonyme, 1999: influence de la granulométrie sur le couscous.

Anonyme, 2002, 1: info @ couscousdari.com: le couscous d'orge, un produit de terroir, revue La Médina, édition 17-09-2002

Anonyme, 2002, 2 : Etude corporative de quelque couscous de blé dur fabriqués en Algérie : aspect socio-technologique : mémoire ing. INA. El harache.

Anonyme, 2003: Alberta Barley Commission. Farmers taking responsibility for their future. Albertabarley.com.

Anonyme, 2005 : guide alimentaire canadien pour manger sainement.

Anonyme, 2006 : Encyclopédie Professionnelle Microsoft Encarta, 2006.

Anonyme , 2008 : Comité technique marocaine de normalisation des céréales et légumineuses. Couscous complet de Blé dur spécification. 5p

Badaoui D., 1984 : Influence du séchage sur la qualité du couscous industriel. Thèse Ingénieur, I.N.A., EL HARRACH.

Bailly P., 1985 : Le blé dur. La semoulerie. Ind. de céréales. N°36, pp:5-12.

Belaid M.R, Belarbi A. et Khendek D., 1994 : Rôle des monoglycérides dans l'expression de la qualité du couscous de blé dur. Mémoire d'Ingénieur. INA, El-Harrach, Alger. 90 p.

Benabdeljelili, K ; Benmoussa, H et Charki, M 1999: biodisponibilité du phosphore de phosphates locaux pour le poulet de chair. Troisièmes journées de la recherche Avicole St Malo, France, p157-160

Benalia N., 2007 : Contribution à l'étude de la flore fusarienne totale dans un sol céréalier de l'ITGC (oued smar). Mém.Ing, Inst. Nat. Agro., El-Harrach, Alger, 56 p

Benatallah L., Agli A. Et Zidoune M.N., 2008: Gluten-free couscous preparation: traditional diagram description and technological feasibility for three rice leguminous supplemented formulae. Journal of Food, Agriculture et Environment. Vol.6. P: 105 112.

Boudreau A., et Menard G., 1992 : Le Blé : éléments fondamentaux et transformation Ed. Les presses de l'université de Laval. Québec, p 131.

Boudreau et Menard, 1992 : Le blé : élément fondamentaux et transformation Ed : les presses de l'université LAVAL ; CANADA ; 437p.

Boukhemia. A, 2003 : aptitudes technologiques de quelques variétés de blé dur local : interaction amidon-protéine, thèse de magister option : science alimentaires. Boumerdes.

Calvel R., 1984 : la boulangerie moderne 10^{ème} édition : Eryolles, paris : p459

Cheftel J.C., et Cheftel H., 1992 : Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments Vol 2. Technique et Documentation. Paris. pp 105-145.

Dacosta Y. ; 1986 : le gluten de blé ses application APRIA- Association pour la promotion industriel agriculture.

Damarquilly C., 1978: Quantité des matières azotées des aliments pour ruminants. Paris INRA. 157p

Dexter J.E. et Matsuo P.R., 1977: Influence of protein contain on some durum wheat quality, parametus can j plan SCI, 57. pp 712-727. DIRIZA., 1989

Dubois M., 1995 : La mouture expérimentale du Blé tendre. Industrie des Céréales 93.p 4-15.

Feillet P., 2000 : Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris 171,222-308p.

Franconie H., 2010 : Couscous, boulgour et polenta : transformer et consommer les céréales dans le monde. Ed Karthala, Paris. 434p.

Gevardat De Fombelle A., 2003 : Etude de l'effet de l'origine botanique de l'amidon sur sa digestibilité anti-caecale chez le cheval. Thèse de Doctorat, Institut Agronomique de Paris, p.24

Godon B., 1991 : Composition biochimique des céréales, pp: 77-94. In « les industries de première transformation des céréales ». Godon B. et Will M.C. Lavoisier Tec et Doc. Apria. Paris. 221p.

Godon B., et Willm C., 1991 : Les industries de la 1er transformation des céréales. Tec & Doc. Lavoisier, p 135- 254.

Godon B. et Willm C. 1998 : les industries de première transformation des céréales. 2^e tirage. Edition Tec & Doc, Lavoisier, Paris, pp 59-578.

Guezlane L., Selselat-Attou G. et Senator A., 1986 : Etude comparée du couscous de fabrication industrielle et artisanale. Industrie des Céréales. Vol. 43. P : 25-29.

Guezlane L., et Abecassis J., 1991 : Méthode d'appréciation de la qualité culinaire du Couscous du blé dur. IAA Novembre 1991 : pp 966-970.

Guezlane L., 1993 : Mise au point de méthodes de caractérisation et étude des modifications physico-chimiques sous l'effet des traitements hydro-thermiques en vue d'optimiser la qualité du couscous de blé dur. Thèse Doctorat, INA, El Harrach. 89p

Hamoun B., Panelli S., Brard M., Thomas P., Chabault E. Reynaud S., Hequet V., Savaete M., Larraburu C., Triboulot D., Marion M., 2001 : Les produits céréaliers intermédiaires p140 : 16-21 : Institut Agroalimentaire de LILLE Avenue Paul LANGEVIN 59650 Ville neuve d'Ascq.

Jeantet R., Croguennec T., Schuck P., Bruel G. 2007 : La science des aliments Technologie des produits alimentaires. Ed, Tec & Doc 2^{ème} Ed. Lavoisier. Paris p 187-452.

Khelassi H. et Mekmouche F., 2009 : Comportement biochimique, technologique et physico-chimique de semences de Blé ionisées sur plusieurs générations. Mémoire d'ingénieur. École Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrache, p 16.

Kherrif A. 1996: Effet de la variation protéique sur l'expression de la qualité technologique du Couscous de Blé dur : Thèse Ing- I.N.A. 61p.

Kouidri A., 1999 : Fibres alimentaires en pratique médicale courante : Effet du son d'orge du seigle sur les troubles fonctionnels intestinaux et sur le métabolisme glucido-lipidique, Mémoire de Magister, I.N.A, El Harrach, Alger.

Mariche O., 2000: L'effet de fertilisation azotée sur la qualité technologique de deux variétés de Blé dur (*Triticum durum*), thèse d'ingénieur d'agronomie Blida.

Molinacano, J-L, Sopena, A., Polo, J.P, Bergareche, C., Moralejo, M.A., Swanston, J.S. And Glidewet, S.M. 2002: Relationship between barley hordeins and malting quality in a mutant of cv. Triumph. 11. Genetic and environmental effects on water uptake. *Journal of Cereal Science*. 36, 39-50.

Morot-Gaudry J.F., 1997 : Assimilation de l'azote chez les plantes : aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Ed INRA. Paris, p377

Neron S., 2000 : les lipides de l'amidon : quand une minorité s'en mêle. *Industrie des Céréales*. N°119. Pp5-18.

Palmer, G H, 1989: cereal in malting and brewing, *cereal science and technology*, éd. Abredeen University Press, p 61

Okandza Y., 2000 : Caractérisation technologique et biochimique de quelques variétés de blés durs Algériens. Thèses Magistère. I.N.A. Alger.

Parabhasankar P., Haridas P., 1999: lipids in wheat flower streams. *J. cereal- Sci*. 30 (3): p 315

Pickering R., Johnson P.A. 2005: Recent progress in barley improvement using wild species of hordeum. *Cytogenet genome. Rec* 9:344-349.

Romain J., Thomas C., Piemme S., Gerard B., 2006 : Sciences des aliments : Biochimie, Microbiologie procédés et produits. Volume 2 : Technologie des produits alimentaires. Technique et Documentation pp 139-197.

Rossel P., Hubert C., 2002: les pains français évolution, qualité, production. Ed. MAE-ERTI.

Samson M.F. et Desclaux D.2006 : Amélioration de la valeur technologique et commercial du Blé dur : vers une réduction des taux de mouchetures et de mitadins. Ed. Tec ; & Doc. Lavoisier. Paris.

Siret C., 2004 : Structure des aliments Techniques de l'ingénieur traité Agroalimentaire. pp 9-10.

Societe Malteurop, 2000 : Elaboration des malts utilisé en brasserie, technique de l'ingénieur F6200.

Soltner D., 1988 : les grandes productions végétales. 16^{ème} édition. Paris : sciences et techniques agricoles. p464.

Tara A., 2005 : Modification chimique de l'amidon par extrusion réactive. Thèse de Doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, France, p4.

Yettou N., 1998 : Les méthodes instrumentales d'appréciation de la qualité culinaire du Couscous de Blé dur. Mémoire Magister. I.N.A. El Harrach. Alger.

Yettou N., Guezlane L. et Ounane G., 2000 : Mise au point d'une méthode instrumentale d'évaluation de la délitescence du couscous de blé dur. Symposium blé 2000, en jeux et stratégies. Alger. P : 271 - 276.

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. 140 pages

ANNEXES

Annexe 01 : Appareillages

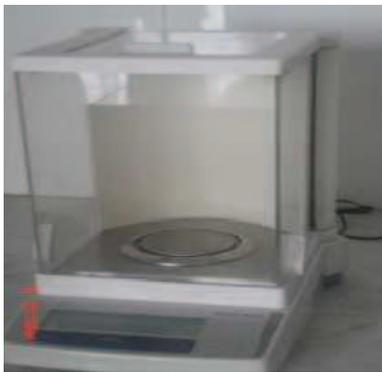
Les appareils utilisés (photos original) :



Niléma-litre



Tamis granulométrique



Balance



Four à moufle



Centrifugeuse



Dessiccateur



← Etuve →



Plaque chauffante



Test de cuisson



Matériel de fabrication artisanale de couscous

(Benatallah et al., 2008)

Annexe 02 : composition des milieux de culture utilisés

L'eau physiologique :

- Chlorure de sodium
- Eau distillée
- Ph = 7,5

Milieu Oxytetracycline Gélose Agar (OGA) :

- Extrait de levure.....5g
- Glucose.....20g
- Agar.....16g
- Eau distillée.....100 ml
- Ph = 6,8 à 7

Milieu AGAR viande foie :

- Base viande foie.....20g
- Glucose.....0,75g
- Amidon.....0,75g
- Sodium sulfite.....1,2g
- Citrate de fer ammoniacal.....0,5g
- Carbonate de sodium.....0,67g
- Agar-agar.....11g
- Eau distillée.....1000 ml
- Ph du milieu prêt à l'emploi à 25°C : 7,6 ± 0,2

Tryptone-sel-eau (TSE) :

- Tryptone.....1g
- Chlorure de sodium.....8.5g
- Eau distillée.....1000ml
- Ph = 7.2

Annexe 03 : l'étude statistique

❖ La moyenne :

Soit $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$

La moyenne est le rapporte :

$$\bar{x} = \frac{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n}{n} = \frac{\sum x}{n}$$

x = le caractère quantitatif

\bar{x} = la moyenne

n = l'effectif

❖ La variance :

Variance, (S^2) = moyenne de l'écart au carré de valeurs par rapport à la moyenne

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}$$

S^2 = la variance

x = le caractère quantitatif

\bar{x} = la moyenne

n = l'effectif

❖ L'écart-type :

Écart-type (S) = Racine carrée de la variance :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$$

S = écart-type

x = le caractère quantitatif

\bar{x} = la moyenne

n = l'effectif

Annexe 04 :

Granulométrie des semoules :

	L'ouverture des tamis (μm)										
	1225	1000	900	710	630	500	450	355	250	160	<160
Semoule de blé	0	0	0	1	9	47	13	20	8	1	0
Semoule d'orge	45	16	12	6	7	6	2	5	1	0	0

Granulométrie du couscous :

	L'ouverture des tamis (μm)								
	2000	1600	1400	1250	1000	710	630	<630	
Couscous industriel de blé dur	0	4	12	15	27	32	6	4	
Couscous artisanal de blé dur	0	0	3	7	36	51	3	0	
Couscous artisanal d'orge	1	13	25	32	27	2	1	0	

Gonflement à froid du couscous :

	Temps (min)						
	5	10	20	30	40	50	60
Couscous industriel de blé dur	157	171	185	242	250	260	285
Couscous artisanal de blé dur	157	185	200	228	240	250	280
Couscous artisanal d'orge	171	200	228	265	285	300	300

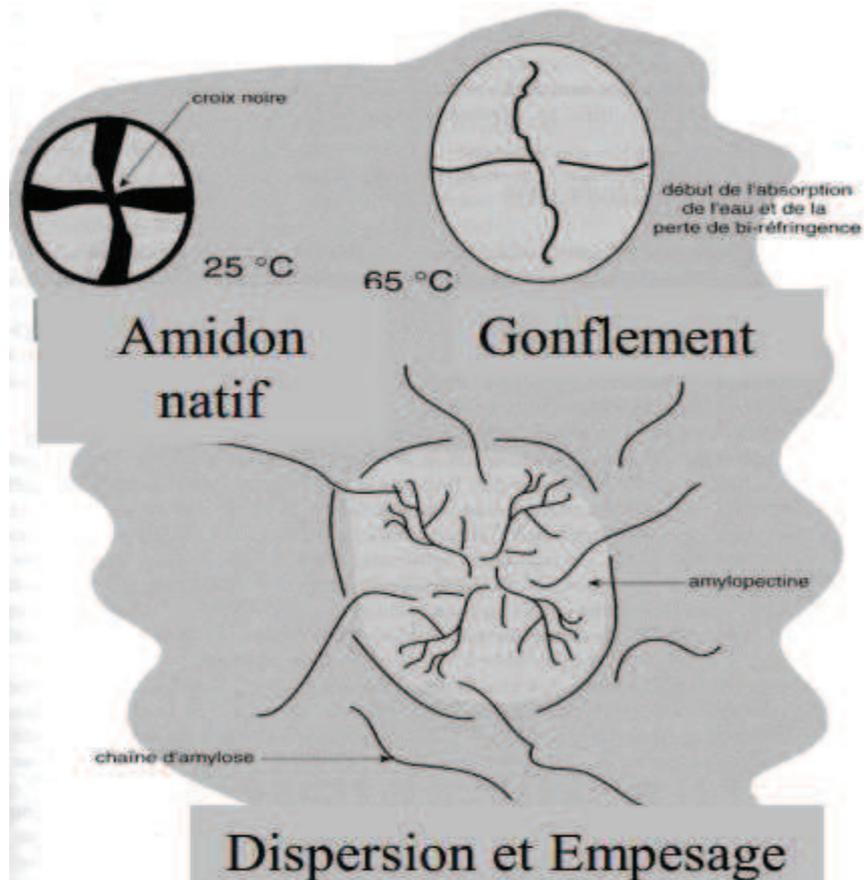
Gonflement à chaud du couscous :

	Temps (min)						
	5	10	20	30	40	50	60
Couscous industriel de blé dur	171	214	257	271	285	285	285
Couscous artisanal de blé dur	237	271	285	288	288	288	288
Couscous artisanal d'orge	237	280	285	314	314	314	314

Délitescence du couscous :

	La délitescence (%)	
	A l'état cru	A l'état cuit
<i>Couscous industriel de blé dur</i>	1.88 ± 0,04	2.41 ± 0.01
<i>Couscous artisanal de blé dur</i>	1.55 ± 0.03	1.82 ± 0.02
<i>Couscous artisanal d'orge</i>	1.73 ± 0.02	2.33 ± 0.01

Annexe 05 :



Gonflement et gélatinisation de l'amidon

Annexe 06 : la fiche de dégustation

	Aspect	Couleur	Odeur	Goût
Couscous industriel de blé dur				
Couscous artisanal de blé dur				
Couscous artisanal d'orge				

Aspect :

- 1- Forte présence de grumeaux
- 2- Présence de quelques grumeaux
- 3- Grains homogène

Odeur :

- 1- Répulsive
- 2- Banale
- 3-Attirante

couleur :

- 1- brune
- 2- miel
- 3- Jaune

Goût :

- 1- Agréable
- 2- acceptable
- 3- bon