

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD - DAHLAB

FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

**CONTROLE DE QUALITE ET COMPARAISON ENTRE DEUX TYPES
DE COUSCOUS DE BLE DUR**

**Projet de fin d'étude en vue de l'obtention
du diplôme de Master académique en sciences de la nature et de la vie**

**Filière : Sciences alimentaires
Spécialité : Nutrition et Contrôle des Aliments**

Mme MOKHTARI Ferial

Devant le jury composé de :

Mme ABDELLAOUI Z.	MAA	USDB	Président de jury
Mme BOUTEKRABT L.	MCA	USDB	Promotrice
Mme FERNANE P.	MAA	USDB	Examineur
Mme IDRESS A.	MAA	USDB	Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2012/2013



Au terme de ce mémoire nous tenons en premier lieu à remercier Dieu le tout puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté tout au long de notre travail pour qu'il soit une réussite mérité.

Nous tenant à exprimé notre gratitude et notre sincère remerciement à notre chère promotrice Mme BOUTEKRABT, pour ses précieux conseils et sa patience.

Notre profonde gratitude et sincère reconnaissance à Mr MOUSSA pour son soutien au niveau de l'entreprise MOULA pâte.

Nos vifs remerciements et sincères reconnaissance vont à l'équipe du laboratoire et surtout Mme manel et Mm sabrina pour leur aide et leur compréhension.

A toute l'équipe de couscous MOULA pâte qui nous a beaucoup aidés.

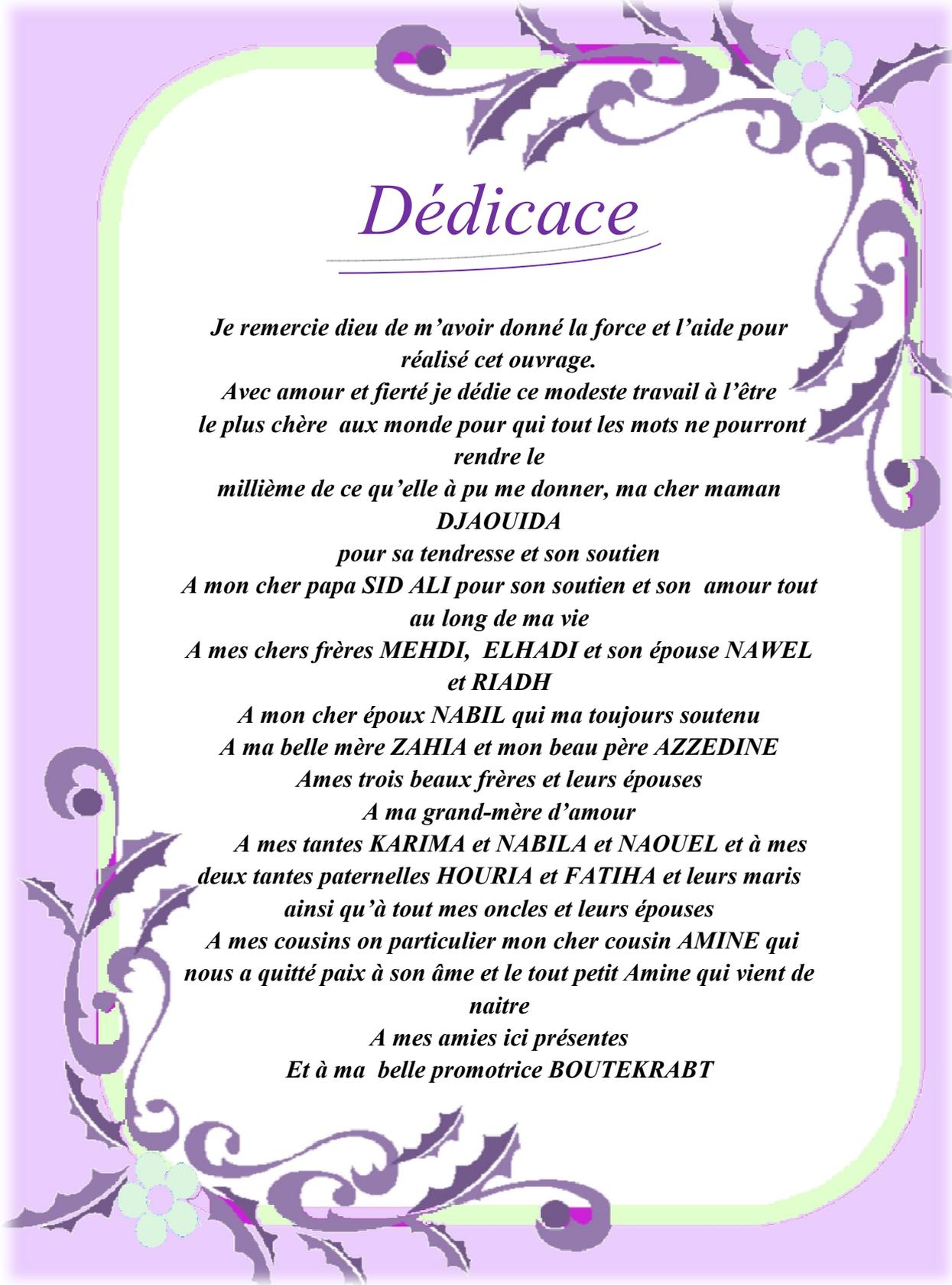
Nous remerciant de tout notre cœur tout les enseignants qui ont contribué à notre formation durant ces cinq années.

Nous avons l'honneur d'exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à tous ceux et celles qui nous ont soutenus de près ou de loin lors de la réalisation de ce modeste travail.

Et nous exprimons notre reconnaissance pleine et entière à l'ensemble des jurées.

Merci

Fériel



Dédicace

*Je remercie dieu de m'avoir donné la force et l'aide pour
réalisé cet ouvrage.*

*Avec amour et fierté je dédie ce modeste travail à l'être
le plus chère aux monde pour qui tout les mots ne pourront
rendre le*

millième de ce qu'elle à pu me donner, ma cher maman

DJAOUIDA

pour sa tendresse et son soutien

*A mon cher papa SID ALI pour son soutien et son amour tout
au long de ma vie*

*A mes chers frères MEHDI, ELHADI et son épouse NAWEL
et RIADH*

A mon cher époux NABIL qui ma toujours soutenu

A ma belle mère ZAHIA et mon beau père AZZEDINE

Ames trois beaux frères et leurs épouses

A ma grand-mère d'amour

*A mes tantes KARIMA et NABILA et NAOUEL et à mes
deux tantes paternelles HOURIA et FATIHA et leurs maris
ainsi qu'à tout mes oncles et leurs épouses*

*A mes cousins on particulier mon cher cousin AMINE qui
nous a quitté paix à son âme et le tout petit Amine qui vient de
naître*

A mes amies ici présentes

Et à ma belle promotrice BOUTEKRABT

Résumé

Le couscous constitue le produit fini de la deuxième transformation du blé dur après la semoule, par conséquent un bon blé dur est celui qui satisfera le consommateur final, l'étude effectuée au niveau de l'entreprise <<MOULA PÂTE>> a pour but de contrôler la qualité de deux variétés couscoussières, le couscous de blé dur local et le couscous de blé dur importé afin de présenter leur valeur nutritionnelle et diététique et d'évaluer l'influence de la qualité du blé dur sur l'aspect et la qualité culinaire du couscous.

Le couscous de blé local analysé présente une granulométrie homogène de même que pour le couscous de blé importé analysé, une humidité acceptable de 12,30% supérieur à celle du couscous de blé local qui est de 10,77%, le taux de cendre du couscous de blé dur local et importé sont tout deux conformes aux normes avec un taux plus faible pour le couscous de blé importé.

L'acidité grasse du couscous de blé importé est de 0.030 g H₂ SO₄ I 100g MS et celle du couscous de blé local est de 0.024 g H₂ SO₄ I 100g MS ce qui indique une bonne conservation pour les deux. Les deux couscous présentent un bon gonflement lors de la réhydratation qui atteint pour le premier à froid 180% et à chaud 182% et pour le deuxième 219% à chaud et à froid, ils ne collent pas et surtout présentent une faible délitescence.

Concernant les analyses microbiologiques, les résultats indiquent une absence totale des moisissures ainsi que des spores Clostridium Sulfito-Réducteurs.

Mots clés: blé dur local, blé dur importé, semoule, couscous, propriétés technologiques, qualité culinaire.

Abstract

The couscous establishes the finished product of the second transformation of the durum wheat after the semolina, consequently a good durum wheat is the one which will satisfy the target consumer, the made study is performed at the <<MOULA PÂTE>> aims at cheking the quality of two varieties of couscous, the couscous of local durum wheat and the couscous of durum wheat imported for the end to present their nutritional and dietary value and to estimate the influence of the quality of the durum wheat on the aspect and the culinary quality of the couscous.

The analyzed of couscous local wheat presents a homogeneous size grading, as well as for the analysed of couscous of imported wheat, an acceptable humidity of 12,30%, superior to that of couscouimported wheat which is 10.77 %, the rate of ash of the couscous of local and imported durum wheat are corresponding to the standards with a lower rate for the couscous of imported wheat.

The fat acidity of the couscous of local wheat is 0.024 g H₂ SO₄/100g MS and that of the couscous of imported wheat is 0.030 g H₂ SO₄/ 100g MS, which indicates its good preservation. Both coucous presents a good inflation during the rehydration which reaches in cold water 180 % and hot water 182 % for the complete couscous and for the second 219 % with heat and with cold, they does not stick and especially presents a low delitescence.

Regarding microbiological tests, the results indicate a total absence of mold and Clostridium Sulfite-Reducers spores.

Key words: local durum wheat, imported durum wheat, semolina, couscous, culinary quality, technological proprieties.

الملخص

يعتبر الكسكس المنتوج النهائي بعد الطحن و التحصل على السميد، و بالتالي القمح الصلب ذو النوعية الجيدة هو الذي سيرضي المستهلك، و الدراسة التي تم انجازها في شركة مولا عجائن بهدف مراقبة جودة نوعين من الكسكس، كسكس مصنوع بقمح صلب محلي وكسكس مصنوع بقمح صلب مستورد بالاضافة الى الإشارة لقيمته الغذائية العالية و المعايير التكنولوجية على مظهره عند الطهي.

كل من الكسكس المصنوع من القمح الصلب المحلي و الكسكس المصنوع من القمح الصلب المستورد يتميز بحبيبات متجانسة الحجم، رطوبة مقبولة تقدر بنسبة 12,30%، و هي أعلى من رطوبة الكسكس المصنوع من القمح الصلب المحلي التي تقدر بنسبة 10,77%، أما نسبة الرماد لكل من النوعين فهي تعتبر مقبولة أيضا، لكن بنسبة أقل للكسكس المصنوع من القمح الصلب المستور ، الحموضة الدهنية للكسكس المصنوع من القمح الصلب المستورد تقدر ب 0.030 م ج أما بالنسبة للكسكس المصنوع من القمح الصلب المحلي فهي 0.024 م ج/غ 100م ج و ذلك يدل على جودة الحفظ و التخزين للنوعين.

تتصف حبيبات الكسكس المصنوع من القمح المحلي و الكسكس المصنوع من القمح المستورد بانتفاخ جيد عند إعادة الاماهة حيث تصل بالنسبة للاول الى 180% في الماء البارد و 182% في الماء الساخن و هيتقدر بالنسبة للثاني ب 219% في الماء البارد و الساخن. المصنوع من القمح المحلي و المستورد يتميزان بعدم الالتصاق و خاصة قلة فقدان المواد الجافة في الماء.

فيما يخص التحاليل الميكروبيولوجية، النتائج تشير لى غياب تام للتعفنات و الابواغ.

الكلمات الجوهرية: القمح الصلب المحلي، القمح الصلب المستورد، السميد، الكسكس المصنوع من القمح الصلب المحلي، الكسكس المصنوع من القمح الصلب المستورد، الخصائص التكنولوجية، الجودة بعد الطبخ.

Liste des figures

Figure n° 01 : Schéma histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé.....	8
Figure n°02 : Diagramme de la chaine de fabrication du couscous industriel.....	34
Figure n°03 : Recherche et dénombrement des Moisissures.....	48
Figure n°04: Recherche des spores de Clostridium Sulfito-Réducteurs.....	50
Figure n°05: La granulométrie de la semoule de blé dur local et de la semoule de blé dur importé.....	59
Figure n°06: La granulométrie du couscous de blé dur local et du couscous de blé dur importé.....	68
Figure n°07: Le gonflement à froid et à chaud du couscous de blé dur local et du couscous de blé dur importé.....	72
Figure n°08 : La délitescence du couscous à l'état cru et cuit.	75

Liste des tableaux

Tableau I : Composition moyenne en minéraux pour 100g de blé dur.....	13
Tableau II : Teneurs moyenne en vitamines exprimées en mg pour 100g de grain.....	13
Tableau III : Nature des polysaccharides pariétaux du blé en pourcentage des polyosides totaux de paroi.....	14
Tableau IV : Composition chimique d'un grain de blé et de ses différentes parties exprimées en pourcentage de la matière sèche.....	16
Tableau V : Les méthodes physiques et aérodynamique de la graine de blé de la phase de nettoyage.....	20
Tableau VI : Composition des sous produits de mouture.....	23
Tableau VII: Le taux d'impuretés dans le blé dur local et importé en g/100g.....	53
Tableau VIII : Le poids spécifique du blé dur.....	54
Tableau IX : La masse de 1000grains du blé dur.....	55
Tableau X : Résultats du calibrage des grains.....	56
Tableau XI : La teneur en eau des grains de blé.....	56
Tableau XII : Le taux de cendres des grains de blé.....	57
Tableau XIII : La teneur en protéines totales des grains de blé.....	58
Tableau XIV : La teneur en eau des semoules.....	60
Tableau XV : Le taux de cendre des semoules.....	61
Tableau XVI : La teneur en gluten sec des semoules.....	63
Tableau XVII : La teneur en gluten humide des semoules.....	64
Tableau XVIII : Le gluten index des semoules.....	65
Tableau XIX: Coefficient d'hydratation des semoules.....	65
Tableau XX: La teneur en protéines des semoules.....	66
Tableau XXI : L'acidité grasse des semoules.....	67
Tableau XXII : La teneur en eau du couscous.....	69
Tableau XXIII : Etude statistique des résultats du taux d'humidité des couscous.....	70
Tableau XXIV: Taux de cendre des couscous.....	70
Tableau XXV : Etude statistique des résultats du taux de cendre des couscous.....	71
Tableau XXVI : L'acidité grasse du couscous.....	71
Tableau XXVII : L'IPTMT des couscous.....	74
Tableau XXVIII : Etude statistique des résultats de L'IPTMT des couscous.....	75
Tableau XXIX :Etude statistique des résultats de la délitescence du couscous.....	76

Liste des tableaux

Tableau XXX : le comportement de l'amidon des couscous.....	77
Tableau XXXI : Etude statistique des résultats de le comportement de l'amidon des couscous.....	78
Tableau XXXII : test de cuisson des couscous	78

La liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation.

ddl: Degré de liberté.

D50: Granulométrie médiane.

g H₂O SO₄/ 100g MS: Gramme d'acide sulfurique par 100g de matière sèche.

GH: Gluten humide.

GS: Gluten sec.

H: Humidité.

1G: Indice de Gonflement.

IPMT: Indice de Prise en Masse par Tamisage.

IS: Indice de Solubilité.

ISO : International Standard Organisation.

Max : Maximum.

Min : Minimum.

May : Moyenne.

MS : Matière Sèche.

NA : Norme Algérienne.

NF: Norme Française.

OGA: Oxytétracycline Gélose Agar.

PE: Prise d'Essai.

Phi: Poids à hectolitre.

PMG: Poids de Mille Grains.

SE : Semoule Extra.

SG : Semoule Grosse.

SM : Semoule Moyenne.

SG Semoule Grosse.

Tc : Taux de cendre

tr/min: Tours par minute.

TSE: Tryptone Sel Eau.

VF: Viande Foie.

Sommaire

Introduction

Partie I : Etude bibliographique

Chapitre I : Le grain de blé.....5

Chapitre II : La semoule.....18

Chapitre III : Le couscous.....24

Partie II : Etude expérimentale

Chapitre I : Matériels et méthodes.....29

Chapitre II : Résultats et discussion.....50

Conclusion.....75

Références bibliographiques

Table des matières

Introduction

Depuis des milliers d'années, l'homme cultivait les céréales car elles sont présentes sur tous les continents et contribuent à nourrir des milliers d'être humain, la céréale la plus cultivé est le blé (Darrigol, 1978).

Le blé dur et la semoule qui en est extraite se prêtent aujourd'hui à la fabrication, souvent industrielle, d'un nombre extraordinairement diversifié d'aliment : galette, couscous, pâtes alimentaires...pour ne citer que les plus connus. Cette diversité d'usage, le blé dur la doit à sa capacité en protéines, à l'amidon qui constitue la plus grande partie du grain, les lipides, pentozanes, et aux enzymes (Feillet, 2000).

Le couscous est une denrée alimentaire sèche qui dans de bonnes conditions d'entreposage peut être stocké pendant une longue durée, et apprécié la simplicité de sa fabrication, sa facilité du transport, sa bonne qualité nutritionnelle et hygiénique. Universellement consommé, la diversité des modes de préparation ont autant d'atouts qui favorisent sa consommation (Anonyme, 1988 (1))

La qualité du blé dur implique de répondre à des critères nutritionnels, organoleptique et hygiénique. Alors que la maîtrise de la fertilisation azotée et minérale et l'utilisation des techniques appropriées, contribuant à une qualité supérieure des blés produits par l'agriculteur et ce a fin de permettre au grain l'élaboration de sa virtuosité.

L'Algérie importe actuellement environ 18 millions de quintaux du blé dur pour répondre à la demande, mais la question qui se pose est : pour avoir un couscous de bonne qualité et qui répond à tous les critères de qualité il est préférable d'utiliser une semoule issue de blé local ou un blé importé ou on fait un coupage entre les deux ?

Pour répondre à cette question et pouvoir conclure quel produit est le plus intéressant, notre étude porte sur le contrôle de la qualité de deux variétés couscoussières la première est fabriquée à partir d'une semoule issue de blé dur 100% Canadien (AAC Current), alors que la deuxième est fabriquée à partir d'une semoule issue uniquement de blé dur local (Hedba 3).

Et ainsi identifier l'impact de la composition des semoules mises en œuvre (blé dur local-blé dur importé) sur la qualité du couscous industriel produit au niveau de la société MOULA PÂTE, et d'essayer de par une comparaison entre les résultats obtenus par des analyses effectuées sur les deux types de couscous d'évaluer le degré d'appréciation de chaque type dans le but d'offrir au consommateur un couscous satisfaisant.

I- Le grain de blé

I-1-Origine et historique de grain de blé

Le blé est une espèce annuelle qui fait partie de la classe botanique des monocotylédones et de la famille des Graminées. C'est une espèce autogame de jours longs. C'est la première céréale cultivée et largement consommée en Algérie et dans le monde (Hamadache, 2001).

La découverte de grain de blé remonte à 15 000 ans avant Jésus Christ dans la zone du croissant fertile au proche orient, c'est à cette époque que des nomades commencent à ramasser une plante sauvage de la famille des Graminées proche de notre blé actuel : « la *Triticum durum* » appelé également « petit épeautre » ou loculaire (Anonyme 2001). Celui ci a été domestiqué par l'homme entre 9500 et 8500 ans avant Jésus Christ. Cette plante a quasiment disparu à ce jour. Toutefois, certains spécimens sont encore conservés par les scientifiques afin d'en préserver le patrimoine génétique.

L'amidonner « *Triticum dicu Clark* » représente le deuxième stade d'évolution vers le blé actuel, il est issu du croisement de l'engrain s'en fais, l'ancêtre direct du blé dure qui donnera après de multiples naturelles le blé bure tendre.

Le mot blé à long temps désigné toute la famille des céréales (au nombre de 13) dont le seigle, le sorgho, et le mil. Mais nom latin *Triticum* plus précis, fait référence à trois groupes distincts par leur nombre de chromosome : le *Triticum* diploïde ($2N=14$), *Triticum* tétraploïde ($2N=28$) et *Triticum* hexaploïde ($2N=42$).

La production de blé a été marquée par plusieurs évolutions après avoir été cultivé en petites quantités pendant des milliers d'années, le blé a connu une culture extensive avec l'utilisation de la charrue à soc de fer, cette invention a permis aux cultivateurs d'améliorer leurs récoltes qui ont un labour profond des sols, l'augmentation de la production et de la demande et favorisant le dégagement d'excédent (Gate P, 1995).

L'apparition vers le milieu du 19^{ème} siècle, d'acteurs intervenant sur le marché dans un but mercantile a fait basculer cette céréale dans l'agriculture commerciale à la même époque. La révolution industrielle en Europe a été accompagnée de changements essentiels dans la filière agricole et notamment au niveau des engraines qui ont entraîné une croissance importante de la production de blé, l'accentuation de ce phénomène au cours en abaissant le taux de main d'œuvre. (D'amico, 1996)

I-2-Les variétés étudiées

◆ Blé dur Hedba 03 :

C'est une variété présente dans les hauts plateaux et les plaines intérieures. La taille de la plante est de 100 à 120 centimètres de hauteur, épi de forme pyramidale, épillé ouvert à grain blanc. Hedba 03 est un blé d'hiver ayant une grande résistance au froid mais sensible à la verse et à la sécheresse. Sa production varie entre 18 et 20 qx/ha.

◆ Blé dur ambré Napoleon :

Napoleon est un blé dur ambré (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) qui répond aux critères de qualité de la classe du blé dur ambré du l'ouest canadien. Napoleon a été évalué lors d'essais coopératifs pour la certification des blés durs ambrés en 1996, 1997 et 1998. Napoleon a démontré des rendements en grains supérieurs aux cultivars témoins à l'exception de AC Avonlea. Les rendements en grains de Napoleon variaient selon la région et étaient supérieurs dans la zone des sols noirs comparée à la zone des sols bruns. Napoleon a démontré une précocité semblable à AC Avonlea et à AC Morse mais Napoleon était un jour plus hâtif que Kyle et deux jours plus tardif que Hercules. Napoleon était de taille semblable à AC Avonlea mais était significativement plus grand qu'AC Morse et significativement plus petit que Kyle et Hercules. Napoleon s'est démontré plus résistant à la verse que Hercules et Kyle mais moins résistant que AC Avonlea et AC Morse. Napoleon était résistant à la rouille foliaire, à la rouille noire et à la carie du blé. (Humphreys et Gaudet 2010).

I-3-Généralités

Les grains des céréales tel que le blé sont appelés des caryopses, font partie de la famille des Graminées, ce sont des plantes annuelles mono carpiennes (une seule fructification), cultivées essentiellement pour leur grains. En effet, l'albumen amylicé, réduit en farine, est consommable par l'homme et par les animaux domestiques ; il en est de même pour la paille et le fourrage qu'elles procurent après une récolte à l'état vert (Darrigol, 1978).

La consommation des céréales est très élevée dans le monde. Ce sont des produits énergétiques stockés à long terme et qui présentent une certaine facilité de transport.

Notre équilibre alimentaire suppose une consommation régulière de blé dur car il contient tous les sels minéraux identifiés (sodium, calcium, potassium, magnésium, silicium, phosphore, soufre, fer...). Plusieurs oligoéléments (manganèse, cuivre, zinc, iode...). Vitamines indispensables (B1, B2, B13, D, E, K, PP).

Dans tous les cas, sous quelques formes que soit consommé, le blé (grains, farines, flocons, pains...) doit être complet et nécessairement issu d'une culture biologique (Godon, 1991).

I-4-Définition et aspect morphologique :

Le grain du blé est un caryopse. C'est un fruit sec et indéhiscent. Il est de couleurs blanchâtre à brunâtre selon l'espèce, blé dur ou blé tendre selon les variétés (Hamadache, 2001).

Histologiquement, le grain de blé dur est formé de trois types de tissu: le germe (3%), les enveloppes (13-16% du grain) et l'albumen (80-85% du grain) (Barron *et l.*, 2007).

Selon Darrigol (1978), le grain de blé se compose de quatre parties (voir figure n°01).

➤ **Le péricarpe:**

C'est l'enveloppe externe du grain, comprenant 3 membranes (épicarpe, mésocarpe et endocarpe), et qui a une structure fibreuse due à la cellulose dont elle est en grande partie formée. On appelle en général cette partie externe du grain le son.

- **L'épicarpe :**
Il comprend 2 à 3 couches de cellules, la première ou l'épiderme est d'une cuticule protectrice difficilement perméable, après la récolte, du fait de la maturation subi par le blé cette couche de cellule n'est pas toujours présente.
- **Le mésocarpe :**
Cellules qui sont disposées perpendiculairement à celles de l'épicarpe et au grand axe du grain de blé, elles sont aussi appelées parfois cellules transversales.
- **L'endocarpe :**
Cellules parallèles au grand axe appelées aussi cellules tubulaire.

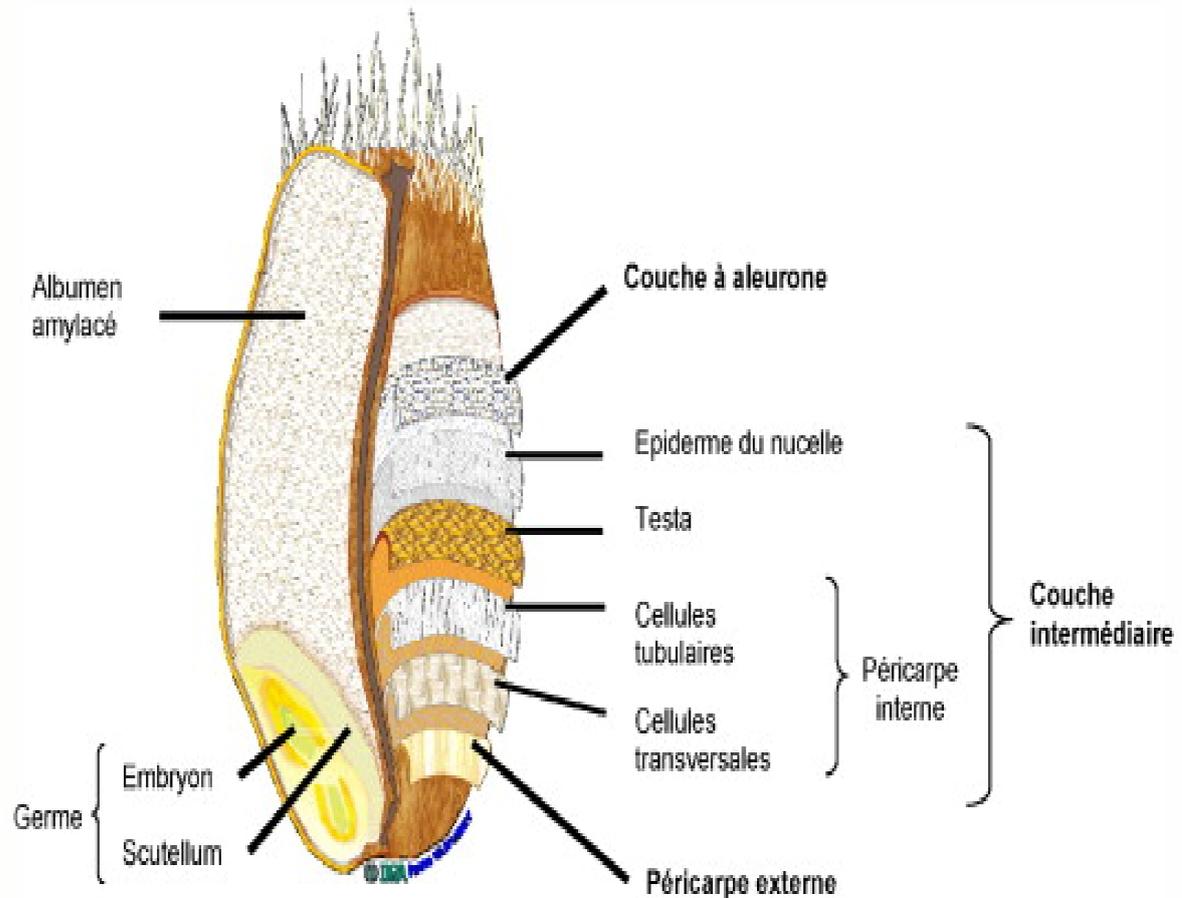


Figure 1 : Schéma histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé

(Surget & Barron, 2005).

- ❖ Ces tissus sont essentiellement constitués de cellules vides dont les parois sont riches en fibres et en composés phénoliques (Hemery *et al*; 2007).

➤ **L'assise protéique**

Située sous le péricarpe, cette partie qui entoure l'amande est formée de grandes cellules granuleuses très riches en protéines. Ce sont les cellules à aleurone.

➤ **Le germe**

Le germe représente 3% du poids du grain et constitue la future plante. Il forme de l'embryon et du scutellum, qui entoure l'embryon, le protège et joue un rôle nourricier grâce à sa richesse en protéines, matières grasses et vitamines (Fredot, 2006).

Souvent appelé embryon. Il est riche en lipides (13 à 17%). Protéines (36 à 40%), vitamines et éléments minéraux (4 à 6%). Il est éliminé à la mouture pour éviter le rancissement et augmenter la durée de conservation, c'est la partie nutritive du grain (Feuillet p, 2000).

➤ **L'amande**

L'amande, encore appelée endosperme, elle constitue 85 % du grain de blé, contre 12 % pour les parties externes (péricarpe et assise protéique) et 3 % pour le germe (et le Scutellum).

L'amande est formée de grains d'amidon enchâssés dans une trame constituée de particules d'une protéine : le gluten. Ce dernier, est abondant dans la partie externe de l'amande. L'amidon est quantitativement le principal constituant du grain de blé (Anonyme 2003).

I-5 Composition biochimique du blé

La composition du grain de blé est très complexe. Elle dépend de l'espèce et de la variété de blé mais, également du climat, des méthodes de cultures, et des conditions de stockage (Godon et William, 1998).

-L'eau

Selon Godon et William (1998), les grains des céréales sont particulièrement déshydratés, leur teneur en eau est aux environs de 14 % pour le blé dur. La teneur en eau joue un rôle important dans l'altération de la semoule.

- Les glucides

Nettement majoritaires (plus de 60% de la matière humide ou 80% de la matière sèche), les glucides sont des substances particulièrement énergétiques.

Ils sont principalement constitués de l'amidon, rassemblés sous formes de petites granules sphériques ou lenticulaires, dont la taille varie de 2 à 40 µm (Godon et William, 1998).

✚ Sucre simple

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

✚ L'amidon

L'amande chez le blé dur est un polymère du glucose, à raison de 25 à 30 % sous forme polymère linéaire (amylose) et de 50 à 75 % sous forme ramifiée et partiellement cristalline (amylo-pectine) car la dureté de grain résulte de l'adhésion (amidon-pectine). Cette adhésion jouerait également un rôle important dans la fermenté de la pâte cuite (Godon, 1991).

Selon Dubois (1995) et Godon (1991), l'amidon est pondéralement le constituant majeur de la semoule de blé dur (60 à 70 %). Il a une forme de réserve des sucres spécifiques du règne végétal, nous le trouvons dans les grains, quel que soit le degré de purification, il contient aussi des lipides (0.50 % de la matière sèche) auxquelles s'ajoutent les protéines (0.20 %) et des matières minérales.

Selon Lauro *et al.*, 1997, l'amylose absorbe beaucoup d'eau à la cuisson et en grande partie responsable du gonflement des granules de l'amidon. Les solutions d'amylopectines ne se rétrogradent pas.

✚ La cellulose

Selon Godon (1991) et Godon et William (1998), 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 polysaccharide de structure des végétaux, sa composition semble indépendante de l'origine de la plante, c'est β -D glucane composé de résidus anhydroglucopyranoses reliés par des liaisons β (1-4) (Kigers et Kiger J-G, 1967).

Formé d'environ 2,7 % du grain entier réparti d'une façon inégale dans les différentes parties du grain (péricarpe : 38%, testa et bande hyaline : 11%, couche à aleurones : 3,5%, endosperme : 0,6%, embryon et scutellum : 2% de la teneur en cellulose totale (GODON, 1991).

-Les protéines

Ce sont des enchainements d'acides aminés, leurs principales fonctions alimentaires sont :

- Des fonctions nutritionnelles: par l'apport d'acides amines essentiels et de peptides à activité biologique.
- Des fonctions organoleptiques : par leurs contribution à la couleur des aliments, la texture (capacité de rétention d'eau), et à la saveur (Jeantet et *al*, 2006).

Dans le grain de blé, il existe 2 types de protéines : les protéines solubles (albumines et globulines) et les protéines insolubines (prolamine ou glianine et glutéline).

Les gluténines et gliadines constituent 80 à 90 % des protéines totales du blé et fortement le gluten qui est responsable de l'élasticité de la pâte.

➤ **Les protéines solubles :**

Représentant 10 à 20 % des protéines totales, elles sont essentiellement localisées dans l'embryon et les parties globulaires qui sont relativement important (Les livres de la mouture du blé spécialité agronomie).

• **Les albumines :**

Représentant 5 à 12 % des protéines totales, sont hydrosolubles et sont riches en triphosphate pauvre en azote, leur groupe protéique est le principal responsable du pouvoir améliorant des extraits aqueux des farines.

• **Les globulines :**

Représentent 6 à 10% des protéines totales, elles sont solubles dans les solutions salines délivrées et riches en Arginine.

➤ **Les protéines de réserve (insolubles) :**

Ce sont les protéines les plus importantes dans le grain de blé une fois malaxé à de l'eau, elles se complexent en formant un réseau de structure caractéristique appelée le gluten qui confère à la pâte son élasticité et sa résistance.

Ces protéines représentent 80 à 90 % des protéines totales situées essentiellement dans l'albumen et la couche aleurone, leurs constituants sont les gliadines et les gluténines.

▪ **Les gliadines :**

Représentant 40-45 % des protéines totales, elles sont extraites par l'éthanol aqueux (C₂H₅OH) à 70 %, après extraction des protéines solubles, elles sont riches en acide glutamique et pauvre en acides basiques et soufrés, ces protéines sont responsables des protéines d'extensibilité du gluten.

▪ Les gluténines :

Elles sont décrites comme étant le résultat de la polymérisation des gliadines par des ponts disulfure, elles représentent 34-35% des protéines totales. Ce sont des protéines résiduelles qu'on extrait par des solutions acides basiques (Les livres de la mouture de blé spécialité agronomie).

-Les lipides

Nous désignons sous le nom de lipides, les substances peu ou pas solubles dans l'eau et solubles par contre dans les solvants organiques tel que le chloroforme. Ils se trouvent dans le blé en faibles quantités 1 à 2 %, et sont essentiellement localisés dans les enveloppes et faiblement dans l'albumen (calve1, 1980).

Les lipides jouent un rôle important dans l'alimentation et dans l'agroalimentaire, ils ont :

- Un rôle nutritionnel par l'apport d'énergie et d'acides gras essentiels.
- Un rôle organoleptique par la contribution à la texture des aliments en tant que précurseurs de molécules aromatiques (Jeantet et *al*, 2006).

-Les oligoéléments

- **Le manganèse:** il permet l'assimilation des vitamines du complexe B
- **Le cuivre:** il facilite la fixation du fer.
- **L'iode:** la grande importance de l'iode s'explique par son rôle dans le bon fonctionnement de la thyroïde.

-Les matières minérales ou cendres : (Tableau I)

La matière minérale représente 1,8 % du poids du grain et est surtout dans les enveloppes et le germe. A vrai dire, les cendres sont essentiellement le potassium, le phosphore, le soufre et le magnésium.

Le taux de cendre constitue le critère réglementaire de la mesure de la pureté des semoules de blé, plus ce taux est faible les semoules sont considérées pures (Clavel, 1980).

Tableau I : Composition moyenne en minéraux pour 100g de blé.

Minéraux	Teneur
Calcium (mg)	35
Phosphore (mg)	400
Magnésium (mg)	140
Sodium (mg)	3
Potassium (mg)	435
Fer (mg)	5
Zinc (mg)	4.1
Cuivre (mg)	0.6
Sélénium (mg)	100

(Fredot, 2006)

-Les vitamines (Tableau I)

Les vitamines sont de petites molécules indispensables à l'homme pour nombreuses activités métaboliques fondamentales et dont la carence conduit à des syndromes spécifiques (Jeantet et *al*, 2006).

Tableau II : Teneur moyenne en vitamines exprimées en mg pour 100 g de grain.

Espèce	Thiamine B1	Riboflavine B2	Niacine PP	Pyridoxine B6	Tocophérols E
Blé	0.52	0.12	6.00	0.50	2,0

(Godon et William, 1998)

- Vitamines hydrosolubles: diverses vitamines surtout du groupe B (B1,B2,B6) sont présentes dans les grains mais à des concentrations faibles (Godon et William, 1998).
- Vitamines liposolubles : la seule vitamine liposoluble présente dans le grain de blé est la vitamine E qui se trouve essentiellement dans le germe.

Les produits céréaliers sont consommés après avoir subi des cuissons à températures souvent élevées, ce qui risque de réduire l'intérêt vitaminique des céréales.

- Fibres alimentaires (Tableau III)

Les fibres des céréales sont composées de chaînes glucidiques (polyosides) de type cellulose (β -glucane, pentosanes solubles et insolubles). Ces fibres ont comme caractéristique commune d'être indigestible pour l'homme, 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.

Tableau III : Nature des polysaccharides pariétaux du blé en pourcentage des polyosides totaux de paroi.

Tissu	Equivalent technologique	% du tissu	Nature polysaccharidique	Solubilité Dans L'eau
Albumen	Farine	2-7%	Cellulose 2-4%	insoluble
			Arabinoxylane 64-70%	25-30%
			Arabinogalactane 2-3%	Soluble
			β -glucane 20-30%	25-35%
Epicarpe	Son	70-80%	Hétérohyane 60-65%	Insoluble
			Cellulose 25-30%	Insoluble
			Lignine 10-15%	Insoluble

(Jean et al. 2007)

- Les enzymes

Les enzymes sont des substances de natures protéiques, et parfois associées à des substances minérales ou organiques, elles sont biologiquement actives et sont élaborées par les organismes vivants et catalysent les réactions chimiques. Les enzymes sensibles aux variations des températures et au pH de milieux, nous distinguons :

- **Les amylases :**

Elles hydrolysent l'amidon et permettent la libération des sucres fermentescibles, nous distinguons deux types : Alpha Amylase ; Béta Amylase (Kigers et Kiger J-G, 1967).

- **La lipase :**

Le devenir des lipides au cours du stockage et les opérations de transformation dépend de deux classes d'enzymes : lipases et lipoxygénases (Kigers et Kiger J-G, 1967).

L'augmentation de l'acidité ou libération des acides gras se déroule sous l'action des lipases qui provoque le développement d'une odeur de rance qui se manifeste au cours du stockage.

- **La lipoxygénase :**

Provoque l'oxydation des pigments caroténoïdes d'où la dégradation de la couleur jaune ambrée (Kigers et Kiger J-G, 1967).

- **La phytase :**

Cette enzyme hydrolyse l'acide phytique qui se trouve concentré au niveau du germe et l'assise protéique, nous pouvons trouver aussi d'autres enzymes qui se localisent dans l'assise protéique et le germe, telle que les protéases, qui hydrolysent les protéines en acides aminés libres (Kigers et Kiger J-G, 1967). Ainsi la composition chimique d'un grain de blé et de ces différentes parties exprimées en pourcentage de la matière sèche est représentée dans le (tableau IV).

Tableau IV : Composition chimique d'un grain de blé et de ces différentes parties exprimées en pourcentage de la matière sèche

Parties du grain	Protéine %	Matières minéral %	Lipide %	Matières cellulosique%	Pentosane%	Amidon%
Péricarpe	7-8	3-5	1	25-30	35-43	-
Tégument séminal	15-20	10-15	3-5	30-35	25-30	-
Assise protéique	30-35	6-15	7-8	6	20	10
Germe	35-40	5-6	15	1	-	20
Amande périphérique	10-15	0.40-1	-	-	-	65-70
Amande centrale	6-9	0.30-0.40	1.5-2.5	2-3	5-8	60-70

(-) : traces

I-6-L'Appréciation du blé dur

❖ La valeur semoulière

Selon Abecassis (1991), 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 réglementaires, il s'agit de la richesse en matières minérales

❖ La valeur couscoussière

Selon Boudreau et Menard (1992), la valeur couscoussière d'une semoule se caractérise par une teneur élevée en protéines (13.5% sur base humide) 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 sont de granulométrie supérieure à celle des pâtes alimentaires.

II- La semoule

II-1- Définition

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 pour 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 (Bai, 1985).

Selon le FAO(1991), la semoule de blé dur est le produit obtenu à partir des grains de blé dur (*Triticum durum* Desf.) par procédés de mouture ou de broyage au cours desquels le son et le germe sont essentiellement éliminés, le reste étant broyé à un degré de finesse adéquate. La semoule complète de blé dur est préparée par procédé de broyage similaire, mais le son et une partie du germe sont préservés.

II-2-La technologie semoulière

Le procédé utilisé par les Moulins reprend à son compte les méthodes traditionnelles afin de préserver, au travers des moyens sophistiqués.

Objectifs

Selon Godon et William (1998), l'objectif de la première transformation de blé dur 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. Ce procédé s'articule sur les phases suivantes :

A-Procédés de transformation

A-1-Le pré-nettoyage

Le blé pesé est envoyé vers le séparateur aspirateur, cet appareil a pour but d'enlever les impuretés de blé de taille notamment différentiels, les méthodes de séparation des impuretés sont résumées dans le tableau III.

Le séparateur aspirateur est constitué par 3 tamis légèrement inclinés est muni d'un mouvement de va et vient avec forte aspiration permettant 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 ceux 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).

A-2-Le nettoyage :

Selon Feillet (2000), cette opération est principale car elle 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.

✚ Le triage :

Le blé passe par des trieurs à surfaces inclinées pour séparer du blé les grains ronds et les pierres. Le blé est amené sur une surface vibrante inclinée afin d'enlever les impuretés du blé qui ont le même diamètre que celui-ci mais dont la longueur est différente (Bourdeau et Menard, 1992).

- Soit plus courtes, tels que les grains ronds,... etc
- Soit plus large, tels que les grains d'avoine, d'orge,... etc (Feillet, 2000).

✚ Brossage

Après l'étape du triage, le blé subit une 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 (Bourdeau et Menard, 1992).

✚ 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 dans le sec de laveuse est brassé dans l'eau, les pierres et le sable lourd tombent au fond et sont évacués, les grains de blé creux flottent et sont également évacués (Feillet, 2000).

Tableau V : Les méthodes physiques et aérodynamiques de la gaine de blé de la phase de nettoyage (Godon et William, 1998)

Critère	Nature des impuretés	Nom de l'opération	machines
Taille	Grosse : pailles, mais Petite : sable, colza	Tamisage	Nettoyeur séparateur
Forme	Etirée : avoine Ronde : vesce	Triage	Trieur graine longue Trieur graine ronde Trieur hélicoïdal
Densité	Dense : pierre Moins dense : ergot	Classement densimétrique	Epierruer-laveuse Table densimétrique
Propriétés physico-chimiques	Magnétique : fer Coeff. De frottement : grain vêtu Couleur : ergot, nielle	Séparateur	Aimant rotatif Séparateur Trieuse colorimétrique.

A-3- Préparation du blé à la mouture (le mouillage)

Selon Godon (1991), 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 suivie d'un temps de repos ou conditionnement.

Le mouillage 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 une humidité de 16.5 à 17 %. Cette action se fait simplement par addition d'une certaine quantité d'eau au blé (eau froide parfois chaude ou en vapeur).

A-4- Mouture

La structure anatomique du grain de blé présente la particularité que l'ensemble des couches histologiques se replis à l'intérieur de grain pour constituer le sillon, ce qui conduit au développement d'un procédé original de première transformation du blé que l'on appelle procédé de mouture, impliquant les mêmes opérations unitaires après nettoyage et préparation des grains quelque soit le type de blé considéré (Godon et William, 1998).

La mouture est l'opération centrale de la transformation du blé en semoule, est réalisée par la succession des opérations suivantes (Feillet, 2000).

Broyage

Le broyage constitue une des étapes déterminantes de la mouture du blé dur, comme dans le cas du blé tendre, il a pour fonction de séparer l'amande des enveloppes, mais ici, cette séparation doit être réalisée avec une production minimale des produits finis.

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.

Blutage ou tamisage

Consiste à classer les produits de mouture : gros broyat, grosse semoule, moyenne, fine,... etc. Ce procédé est réalisé par une série de tamis renfermés dans des compartiments, chacun est réalisé individuellement et directement à chaque opération réalisée par chacun des appareils) cylindre. Chaque plansichter est identifié une par appellation : PB1, PB2, PB,... etc.

Sassage

Consiste à épurer toutes les semoules produites 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 pourvus de tamis adéquats.

Convertissage

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

Désagrège

Par des appareils à cylindre muni de très 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 (amande+ enveloppes) :

- Si l'amande prédomine : nous parlons de semoules vêtues.
- Si les enveloppes prédominent : nous parlons de refus.

II-3- La qualité de la semoule

Pour la fabrication des pâtes alimentaires ou de couscous, nous recherchons des semoules pures non contaminées par le son ou la présence de moucheture avec une qualité protéique satisfaisante :

II-3- A L'odeur

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

-II- 3- B La granulation

Selon Godon et William (1998), la granulation des semoules varie en fonction des marchés et des usages locaux. Dans les pays du Maghreb et du Moyen Orient, on utilise surtout des grosses semoules pour la fabrication du couscous.

II-3- C La coloration

La coloration est la somme d'une composante jaune que l'on souhaite élevée et d'une composante brune ou qui doit être faible.

- **La composante jaune :** Elle dépend de la quantité des pigments caraténoides des semoules et des oxydases (lipozygénase).
- **La composante brune :** Elle est due à l'activité des enzymes peroxydasiques ou polyphéniloxydasique, toute action à diminuer l'activité de ces enzymes soit par la sélection de variété qui n'en possède que de faibles quantités, soit par la mise en œuvre de technologie appropriée (bonne purification des semoules durant la mouture en particulier, température élevée en début de séchage) aura un effet bénéfique sur la coloration des produits finis Guezlane (1993).

II-3- D L'élasticité :

Les semoules très pures, provenant du centre de l'albumen, possèdent de bonnes propriétés rhéologiques (en particulier d'élasticité) mais elles 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 (Abcassis, 1991).

❖ Qualité de semoule destinée à la fabrication du couscous

Le couscous industriel est préparé à partir d'un mélange d'un tiers de grosse semoule (630 à 800 μm) et deux tiers de fines semoules (250 à 630 μm) Bourdreua et *al.* (1992).

Dans les recommandations du Codex alimentaires FAO (1996), la semoule utilisée pour la fabrication du couscous doit être soit un mélange de 20 à 30% de semoule fine (130 à 183 μm) et 70 à 80% de semoule grosse (475 à 700 μm) ou une semoule dite «grosse moyenne» dont le grain a un diamètre compris entre 183 et 700 μm .

Une enquête de Derouiche (2003), montre que les ménagères algériennes choisissent leur semoule selon trois principaux critères: la couleur, la granulométrie et la pureté. La plupart des ménagères préfèrent l'utilisation d'une semoule moyenne (Yousfi, 2002).

Tableau VI : composition des sous produits de mouture (Jeantet *et al.*, 2007)

Produits (% de blé)	Gros sons -7,70%	Fins sons -9,10%	Remouillage -3,20%	Germes -0,20%
Cendres	7,5	6,1	4,1	4,6
Protéines (Nx5,7)	16,8	17,2	20,1	32,6
Amidon	14,7	19,3	24,6	20,8
Sucres	7,1	8,3	10,8	16,9
Celluloses	12,3	10,4	6	3,3
Pentosanes	34,7	32,4	24,7	8,2
lipides	2,3	3,4	4,2	8,3
Totales	95,4	97,1p	94,5	94,7

III- Le couscous

III-1- Définition

Le couscous est un produit composé de semoule de blé dur auquel est ajouté de l'eau potable et il est soumis à des traitements mécaniques (malaxage et roulage) et technique (pré-cuisson et séchage). Aucun additif alimentaire ni aucun autre ingrédient n'entre dans la composition de ce produit sauf éventuellement l'eau d'hydratation utilisée pour l'agglomération de la semoule (AFNOR, 1991).

Selon Arkoun (2004), le couscous est un aliment constitué de protéines, fibres, glucides et de vitamines B3, il est pauvre en lipides et en sodium.

III-2- Procédés de fabrication du couscous

Selon Guezlane (1993), le procédé de fabrication du couscous industriel est inspiré de la méthode manuelle, les grandes étapes de fabrication sont les suivantes :

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.

Mélange de semoule de blé dur (100 kg), d'eau (30 L), et parfois de sel (0.3 – 0.5 kg), cette opération dure environ 15 à 25 min (Feillet, 2000).

2- Roulage

Roulage des particules de semoule pour les agglomérer en grains de dimension variable, habituellement comprise entre 500 et 800 μm , parfois plus, cette opération n'est réalisée que dans des cylindres alvéolés rotatifs (rouleurs) ou de simples plansichters (Feillet, 2000).

Selon Yousfi (2002), les cylindres alvéolés sont des tambours rotatifs dans lesquels la semoule est roulée par frottement des palettes sur une toile en sens inverse du tambour. Le module a pour fonction de rouler et de tamiser en même temps le produit, alors que le plansichter est composé de deux tamis munis d'un mouvement circulaire. Il assure le roulage et le calibrage simultané du produit.

3- Cuisson

Selon Guezlane (1993), la cuisson des produits (pâtes alimentaires 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.

Selon Boudreau et Menard (1992), la cuisson s'effectue à la vapeur à une température de 180°C pendant 8 min.

La section de la 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.

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 (démoteur) : a la suite du cuiseur, le couscous passe dans un démotteur qui provoque la rupture des grumeaux du couscous cuit qui est transporté par la suite vers les rotantes.
- Aspirateur vapeur : a pour but de capter la vapeur en excès qui n'est pas utilisée et qui, autrement, se répandit dans le milieu ambiant.

4- Séchage

Selon Boudreau et Menard (1992), le séchage s'effectue en deux stades, le premier à 65°C pendant 120 min et le second à 55°C pendant 270 min ; et il joue un rôle important dans les caractéristiques organoleptiques du produit fini.

Le séchage à 50-70°C pendant quelques heures pour atteindre une humidité finale de 12-14% ms suivi d'un refroidissement (Feillet, 2000).

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 différents, permettant ainsi le classement des particules selon leur dimension.

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

6- Stockage et conditionnement

Le produit fini est stocké dans des silos et il sera ensuite conditionné pour être enfin destiné à la mise sur le marché.

III-3- Les caractéristiques culinaires du couscous

La qualité du couscous est estimée sur les bases des caractéristiques suivantes :

- L'absorption de la sauce. Les degrés de séparation des particules entre elles, quand il est précuit ou après ajout de la sauce.
- L'absence de collosité et l'homogénéité de la taille des particules.
- Le degré d'absorption de la sauce affecte le goût et la qualité rhéologique.
- Si le couscous n'absorbe pas convenablement la sauce, une sensation de dureté et de rugosité est ressentie au niveau du palais (Anonyme, 2004).

Selon Debbouz et Donnely (1996), les caractéristiques du couscous dépendent de trois groupes de facteurs :

- ❖ Le premier groupe est constitué des caractéristiques de la matière première qui influencent la qualité culinaire du couscous c'est-à-dire la nature des semoules, les variétés des blés durs utilisées et les conditions de fabrication.

Selon Liu et *al.* (1996), une semoule de blé dur destinée à la fabrication du couscous doit posséder un ensemble de qualité physiques (granulométrie), chimiques (amidon, protéines et lipides) et plastiques (élasticité et extensibilité) harmonieusement combinées.

- ❖ Le second groupe de facteurs regroupe l'ensemble des conditions de fabrication qui agissent d'une façon primordiale sur la qualité du couscous.

Selon Gueziane (1993), le taux d'hydratation des semoules et la durée du malaxage exercent un effet plus ou moins favorable sur la qualité culinaire et sur la qualité du couscous à l'état sec, leur augmentation entraîne un accroissement du rendement de l'opération du roulage pour les fractions moyennes et grosses et ont tendances à augmenter le collant du couscous, cependant l'accroissement du taux d'hydratation à une tendance à brunir le produit tandis que l'augmentation de la durée de malaxage entraîne une élévation de son gonflement.

Il montre aussi que l'effet du traitement hydrothermique sur l'aspect sec du couscous se traduit par une augmentation de la granulométrie médiane et une amélioration de la couleur par l'augmentation de l'indice de jaune.

Le gonflement dans l'eau et la prise en masse, se comportent de manière différente, tandis que le maximum de gonflement dans l'eau et les valeurs minimales du collant, sont obtenus à 8 minutes du traitement, l'augmentation de la durée du traitement accroît le second sans modifier le premier.

❖ Le troisième groupe des facteurs qui peuvent influencer la qualité du couscous, c'est le taux d'extraction et de la granulométrie de la semoule.

Les travaux de Bendjouddiouada et Tigroudja (1999) et de Djema (2000), montrent que la granulométrie de la semoule exerce un effet notable sur les caractéristiques physico-chimiques et technologiques de celle-ci et sur la qualité technologique du couscous et elle diminue la teneur en protéines et la teneur en cendres.

Matériels et méthodes

✚ Objectif du travail :

L'étude a été effectuée au niveau de MOULA PATE qui est installé dans la région de Blida dans la localité de Beni Tamou. Le complexe dispose de toute l'installation et les équipements nécessaires pour la transformation des céréales et la fabrication de produits de haute qualité répondant aux attentes et aux exigences du marché, on a ainsi suivi le procédé de transformation du blé dur en semoule et celui de la fabrication du couscous industriel MOULA

Ainsi qu'au niveau du laboratoire de l'industrie, nous avons effectué les analyses technologiques (masse à hectolitre, granulométrie ...), analyses physico-chimiques (teneur en eau, taux de cendre ...) sur la matière première (semoule raffinée) et sur le produit fini (couscous raffiné industriel) et les analyses déterminantes de la qualité culinaire du couscous (gonflement, test de cuisson, délitescence, IPMT ...) et les analyses microbiologiques (la recherche des moisissures et des spores Clostridium Sulfito-Réducteur), durant la période qui s'étale du mois de février au mois de mai 2013.

La détermination de la teneur en Protéine a été effectuée au niveau du laboratoire de contrôle de qualité PILAB à Blida.

Notre objectif consiste à :

- Un contrôle physicochimique qui a pour but d'assurer au consommateur la qualité organoleptique et nutritionnelle des produits alimentaires et à l'unité de production, le respect et la confiance des clients. il est considéré comme un régulateur économique (AFNOR, 2004).
- Un contrôle microbiologique pour assurer aux produits une bonne qualité hygiénique et par conséquent la sécurité du consommateur (Guiraud, 2003).
- Une identification des moisissures mise en évidence

I-Matériels végétal :

- Deux types de blé dur sont utilisés :
 - Blé dur 100% local (de production Algérienne).
 - Blé dur 100% d'importation (production Canadienne).
- Deux types de semoules sont utilisés :
 - Semoule issue de blé dur d'origine 100% local.

- Semoule issue de blé dur d'origine 100% importée.
- Deux types de couscous sont utilisés :
 - Couscous issue de semoule d'origine locale.
 - Couscous issue de semoule d'origine importée.

A- Echantillonnage :

- Le prélèvement du blé dur local d'environ 5kg est effectué manuellement en godet à partir de sac de 20kg de blé dur locale, et de même pour le blé dur importé.
- Le prélèvement de la semoule locale à été effectué manuellement à partir de sac de 1 kg de semoule locale (environ 500g par jour de semoule locale et 500g de semoule importée).
- Le prélèvement du couscous à été effectué manuellement à partir du calibreur (dernière étape de la fabrication) en moyenne 2kg de couscous local et 2 kg de couscous importé.

Nous avons procédé à deux essais pour chaque analyse, donc deux prises d'essai ont été effectuées à chaque fois et de la même manière à partir de l'échantillon prélevé.

B- Appareillage :

- Nélima-litre.
- Numigrale.
- Broyeur.
- Etuve.
- Centrifugeuse.
- Tamis granulométrique.
- Presse à gluten.

❖ Analyse

◆ Analyse effectuée sur le grain :

- **Analyses physiques :**
 - Masse à hectolitre.
 - Poids de mille grains.
 - Calibrage.
- **Analyses chimiques :**
 - Teneur en eau.
 - Taux de cendre.

- Teneur en protéine totale.

◆ **Analyses effectuées sur la semoule :**

Granulométrie, teneur en eau, taux de cendre, teneur en gluten, teneur en protéine totale, mesure de l'acidité grasse.

Le couscous :

Procédé de fabrication du couscous (Figure n°02)

◆ **Analyses effectuées sur le couscous :**

Granulométrie, teneur en eau, acidité grasse, prise en masse du couscous cuit, délitescence, comportement de l'amidon, test de cuisson.

◆ **Analyses microbiologiques :**

- La recherche des moisissures.
- La recherche des spores de Clostridium Sulfito-Réducteurs.

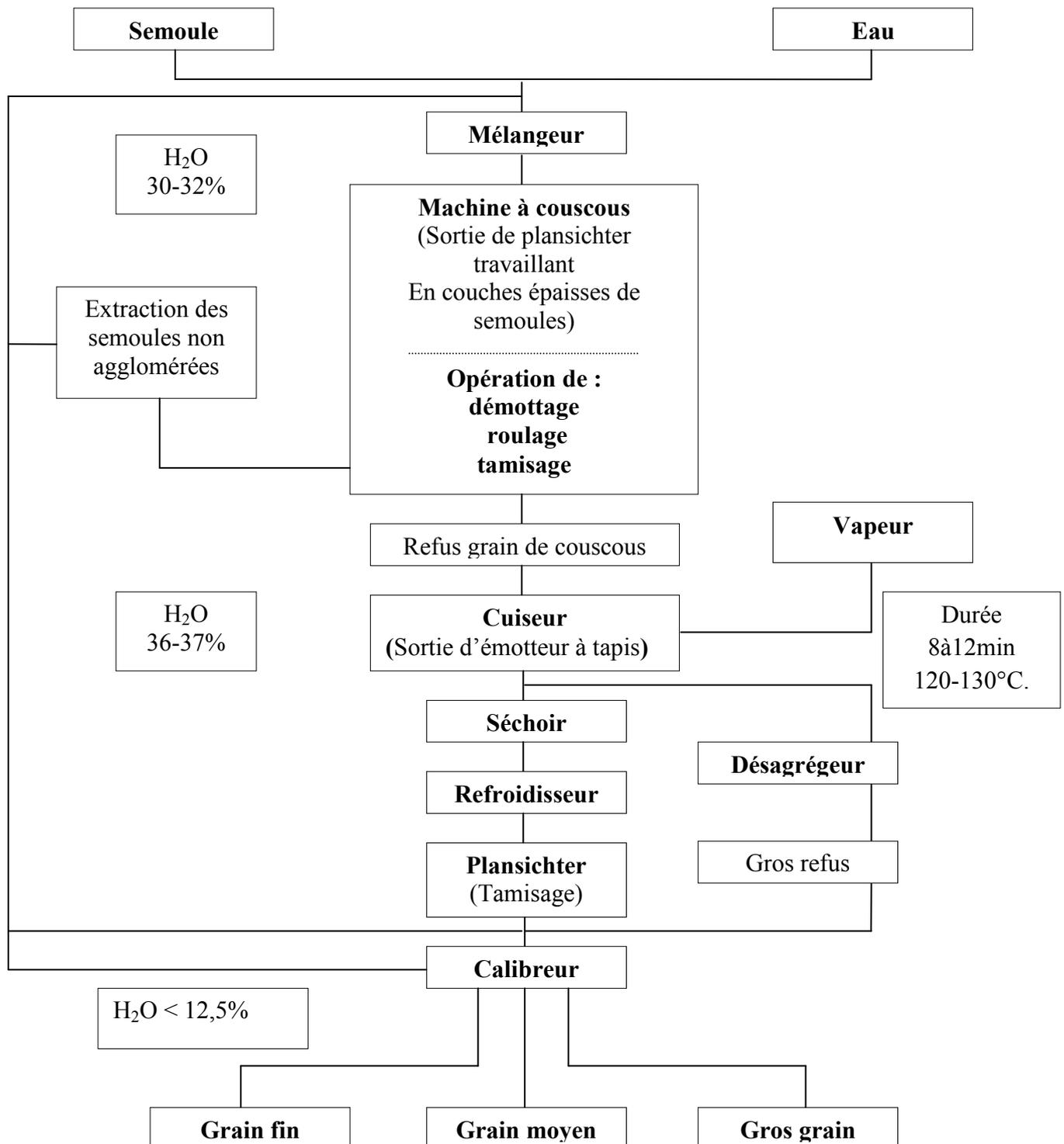


Figure n°02 : Diagramme de la chaîne de fabrication du couscous industriel (original)

(Jeantet et al., 2007)

II- Analyses physicochimiques:**II-1- Analyses effectuées sur le grain de blé dur**

II-1-1 Recherche des impuretés (Agréage) : La détermination des impuretés est réalisée selon la norme algérienne (NA.11.7819M)

Les impuretés sont l'ensemble des éléments considérés conventionnellement comme indésirable dans l'échantillon, elles sont constituées principalement de grains de l'espèce cassé, ou attaqués par des déprédateurs de grains étrangers à l'espèce analysée d'élément d'origine organique ou non organique.

➤ **Principe :**

Séparation et classement des impuretés des différentes catégories contenues dans l'échantillon.

➤ **Appareillage :**

- Balance analytique précis centigramme.
- Une table de travail plat et lisse.
- Scalpel, Pinceau.

➤ **Mode opératoire :**

- L'échantillon du laboratoire est homogénéisé et pesée à travers le diviseur conique pour l'obtention d'une masse d'environ 100g, pesé à 0.01g près.
- Triage manuel de toutes les impuretés après examen visuel de l'échantillon.
- Tamisage de l'échantillon pour extraire les différentes catégories.
- Pesée des différentes catégories d'impuretés.

*Le pourcentage A, d'une des catégories d'impuretés identifiées s'obtient ainsi :

$$A = \frac{M1 \times 100}{M}$$

Où:

M : prise d'essai

M1 masse de la catégorie d'impureté

II-1-2 poids spécifique (la masse à hectolitre) : selon la norme (NA.1.1.61/1986)

La masse à hectolitre correspond à la masse des grains de blé dur contenus dans un hectolitre rempli de grains, d'impureté et d'air interstitiel.

C'est une mesure ancienne qui date de l'époque où l'on mesurait la qualité des grains au volume appelée aussi poids spécifique, elle représente un intérêt commercial.

➤ **Principe :**

Dans la pratique, la masse à hectolitre est la masse de grains mesurés en kg, elle est calculée à partir de la masse d'un litre (Nélima-litre) pour le blé dur sur un échantillon débarrassé manuellement de grosses impuretés.

II-1-3 Poids de mille grains (PMG) : selon la norme (NA.731/1989)

C'est un critère variétal qui dépend de condition de culture. Le PMG est la détermination en gramme de la masse de 1000 grains entiers. L'analyse est réalisée grâce à un appareil automatique «NUMIGRAL».

Les résultats sont exprimés en poids de grain sec (g) :

$$\text{PMG} = M \times \frac{100-H}{100}$$

M : la masse de 1000 grains.

H : l'humidité de grain.

II-1-4 calibrage : selon la norme (ISO 2395/1990)

Il permet de donner une indication sur la grosseur et l'homogénéité du lot. On réalise le calibrage sur une prise d'essai de 100g de l'échantillon et à l'aide d'un agitateur mécanique munis de tamis dont les perforations sont respectivement : 2.80 mm (pour les gros), 2.50 mm (pour les moyens) et 2.20 mm pour les grains de petite taille. Le temps de tamisage est de trois minutes puis on pèse le refus de chaque tamis.

II-1-5 teneur en eau : selon la norme (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 130°C, 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.
- Retirer rapidement la capsule de l'étuve, et laisser refroidir dans l'étuve et laisser refroidir dans un dessiccateur.
- Peser la capsule.

La teneur en eau est exprimée en pourcentage :

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

H : humidité.

M_0 : la masse en gramme de la prise d'essai (5g).

M_1 : la masse en gramme de la capsule + la prise d'essai avant séchage.

M_2 : la masse en gramme de la capsule + la prise d'essai après séchage.

II-1- 6 taux de cendre : selon la norme (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 totale de la matière organique et par pesée du résidu obtenu.

➤ **Mode opératoire :**

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

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

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

T_0 : taux de cendre.

M_0 : la masse en gramme de la nacelle vide.

M_1 : la masse en gramme de la nacelle + la prise d'essai (avant incinération).

M_2 : la masse en gramme de la nacelle + le résidu (après incinération).

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

II-1-7 Teneur en protéine totale : selon la norme (NF V 03-050)

➤ **Principe** :

Le principe de la méthode 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 du produit 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 à la matière sèche par la relation :

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

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 protéines est obtenue par la relation suivante :

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

TA : teneur en azote exprimée de l'azote en protéines totales.

K : 5.7 cas du blé.

II-2- Les analyses effectuées sur la semoule :

II-2-1 granulométrie (taux d'affleurement) : selon la norme (NF V03 – 721/1994)

➤ **Principe** :

La granulométrie des semoules est une sorte de 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) :

500 μm , 450 μm , 350 μm , 250 μm , 160 μm , <160 μm .

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 dur).
- 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.

II-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 : 28

II-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 : 29

II-2-4 teneur en gluten : selon Christine (2010)

➤ **Réactif :**

Chlorure de Sodium, solution à 25g/l.

➤ **Appareillage :**

Le gluten est obtenu à l'aide d'un GLUTAMIC :

- Pesage de 10g de semoule à analyser.
- Mouiller avec quelques gouttes d'eau distillée à 25% NaCl.
- Centrifuger dans le rotor perforé de l'appareil.
- Peser la fraction (1) du gluten qui traverse la grille du rotor.
- Peser la fraction (2) du gluten qui ne traverse pas la grille du rotor.

➤ **Expression des résultats :**

Gluten sec :

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

PE : prise d'essai (10g)

➤ **Gluten humide :**

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

➤ **gluten index (GI) :**

$$GI(\%) = \frac{\text{quantité du gluten qui reste sur le}}{PE}$$

➤ **capacité d'hydratation:**

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

$$GH(\%) = \frac{GH-GS}{GH} \times 100$$

GH: gluten humid.

GS: gluten sec.

GH: gluten humide.

II-2-5 La 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 30

II-2-6 La mesure de l'acidité grasse : selon la norme (NF. ISO. 7305)

➤ **Principe :**

La mesure repose sur le dosage colorimétrique. Les acides gras libres sont mis en solution dans l'éthanol à 95%. Après centrifugation, le surnageant est titré par l'hydroxyde de sodium (0.05 N).

➤ Mode opératoire :

- Broyer 5g de produit.
- Déterminer la teneur en eau de l'échantillon.
- Effectuer un essai à blanc par titration de 20ml d'alcool auquel on ajoute 5 gouttes de phénolphthaléine, par le NaOH jusqu'au virage de la couleur du blanc au rose pale.
- Introduire la prise d'essai dans un tube de 50ml et lui ajouter 30ml d'alcool« thylique à 95%.
- Agiter pendant une heure à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Centrifuger le produit pendant 2 mn.
- Prélever 20ml du surnageant limpide et lui ajouter 5 gouttes de phénolphthaléine.
- Titrer à l'aide d'une micro burette avec la solution d'hydroxyde de sodium (0.05N) jusqu'au virage à la couleur rose pale.

L'acidité grasse est exprimée en gramme d'hydroxyde de sodium par 100g de MS :

$$\text{acidité grasse} = 7.13 \times \frac{(V_1 - V_2) \times T}{m} \times \frac{100}{100 - H}$$

V_1 : Le volume en ml de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée dans la titration de l'échantillon.

V_2 : Le volume en ml de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée dans l'essai à blanc.

T : le titre exact de la solution d'hydratation de sodium utilisée.

m : la masse en gramme de la prise d'essai.

H : la teneur en eau.

7.13 : le coefficient de conversion en acidité grasse.

II-3-Les analyses effectuées sur le couscous**II-3-1 La granulométrie :**

D'après Linden et Lorient (1994), la granulométrie du couscous est une opération de classement dimensionnel des granules selon leurs tailles, par présentation sur des surfaces perforées qui laissent passer de granules de dimensions inférieures aux dimensions des perforations tandis que les grains de dimensions supérieures sont retenus.

Les tamis utilisés sont différents de ceux des semoules, et les ouvertures des mailles sont respectivement les suivantes (du haut en bas) : 2000 μm , 1600 μm , 1400 μm , 1250 μm , 1000 μm , 710 μm , 630 μm .

Le but est de déterminer l'homogénéité du couscous tel que la taille de grain formé.

➤ **Mode opératoires:**

- 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 60 tr/mn pendant 10mn.
- Pesage du refus de chaque tamis.

II-3-2 La teneur en eau :

La détermination de l'acidité de la teneur en eau est effectuée à partir de la méthode normalisée : **NA.1.1.32/1990** citée dans la page :

II-3-3 La mesure de l'acidité grasse :

La détermination de l'acidité grasse est effectuée à partir de la méthode normalisée : **NF.ISO.7305** cité dans la page :

II-3-4 Le gonflement à froid et à chaud :

➤ **Principe**

Le principe de cette méthode est de déterminer le comportement du coucou lors de la réhydratation, car l'amidon pré-gélatinisé (cuit puis séché) gonfle directement dans l'eau froide et retient bien l'eau (Guezlane et Abecassis, 1991).

➤ **Mode opératoire :**

- Verser 20g de 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 toutes les particules.
- Ajouter à nouveau 50ml d'eau pour faire descendre les particules collées sur la paroi de l'éprouvette.
- Laisser au repos pendant une heure.
- Noter les modifications du volume du couscous après 5mn, 10mn, 20mn, 30mn, 40mn, 50mn, 60mn.

Le gonflement est déterminé par la relation suivante :

$$G = 100 \times \frac{VF}{PE}$$

G : gonflement

VF : volume final du couscous dans l'éprouvette (pour 100g de MS).

PE : prise d'essai en gramme de matière sèche.

II-3-5 La prise en masse du couscous cuit (IPMT)

➤ **Principe :**

Selon Guezlane et Abecassis, (1991), la prise en masse correspond au pourcentage en masse formant de gros agglomérats (supérieur à 3 mm) pendant la réhydratation. Elle est déterminée par tamisage après cuisson du couscous suivant la méthode :

➤ **Mode opératoire :**

- Placer 10g du couscous dans un cristalliseur.
- Hydrater avec 16.5ml 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 du couscous obtenue et qui est considérée comme prise d'essai.
- Réaliser un tamisage sur un tamis d'ouverture égale à 315µm pendant 5mn.

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

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

PE : la prise d'essai (la quantité du couscous obtenue après séchage).

II-3-6 La délitescence :

➤ **Principe :**

La délitescence permet de déterminer l'état de désagrégation du couscous cru ou cuit. Elle est exprimée en pourcentage (Guezlane et Abecassis, 1991).

➤ **Mode opératoire :**

- Placer 10g du couscous (cru ou cuit) dans un bécher.
- Ajouter 50ml d'eau distillé.
- Agiter pendant 5mn.
- Prélever une partie aliquote du sodium filtré par un tamis fin (N10 Nylon).
- Sécher l'étuve pendant 17h à 100°C.
- Peser à l'extrait sec obtenu qui représente la délitescence.

La délitescence est définie par la relation suivante :

$$\text{la délitescence (\%)} = \frac{\text{l'extrait sec obtenu}}{\text{PE}} \times 100$$

II-3-7 Le comportement de l'amidon :

➤ **Principe :**

Anderson et al. (1969), montrent que le comportement de l'amidon dans l'eau est traduit par deux types de transformations : Le gonflement et la solubilité.

L'indice de gonflement (IG) : permet d'apprécier le degré de gélatinisation de l'amidon, il est défini par le poids du culot rapporté au poids initial de l'échantillon diminué du poids de l'extrait sec.

L'indice de solubilité (IS) : permet d'apprécier le degré de désagrégation de l'amidon, il est défini par le poids de la quantité dissoute de l'échantillon.

➤ **Mode opératoire**

- Déterminer la teneur en eau.
- Mettre 2.5g du couscous en suspension par agitation dans 30ml d'eau distillée pendant 30mn.
- Placer sur le support rotatif (37tr/mn).

- Après centrifugation à 4500tr/mn pendant 10mn.
- Séparer le surnageant du culot.
- Sécher à 10°C pendant 15h à l'étuve.
- Peser l'extrait sec obtenu.

➤ **L'expression des résultats :**

L'indice de solubilité est obtenu par la relation suivante (exprimé en % de la matière sèche)

$$IS = \frac{\text{moyen de l'extrait sec (g)}}{PE \times (100 - H / 100)} \times 100$$

PE : prise d'essai.

H : humidité.

L'indice de gonflement est obtenu par la relation suivante : (exprimée en g d'eau /100g de matière sèche)

$$IG = \frac{\text{poids du culot}}{\text{prise d'essai-solubilité (M)}} \times 100$$

II-3-8 Test de cuisson :

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

- **1er mouillage :** mouiller le couscous avec de l'eau puis faire égoutter toute de suite et laisser le pendant 10mn pour que le grain de couscous absorbe l'eau ajouter.
- **1ère évaporation :** faire cuire le couscous à la vapeur pendant 15mn.
- **2ème mouillage :** arroser progressivement le couscous d'une certaine quantité d'eau.
- **2ème évaporation :** faire cuire une deuxième fois à la vapeur pendant 15mn.

On pèse le couscous après chaque étape de préparation.

III- Les analyses microbiologiques :

Les analyses microbiologiques visent le contrôle des aliments du point de vue présence ou absence de microorganismes. Elles se font par isolement de microorganisme du

substrat solide et les mettre en suspension dans un diluant et 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 micro-organismes recherchés sont surtout les **Moisissures** et **Clostridium Sulfito- Réducteur**.

Dans les laboratoires du control de qualité les analyses microbiologiques se réalisent en 3 étapes fondamentales :

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

❖ **Préparation des suspensions mères :**

Pour préparer une suspension mère, nous procédons comme suite :

- Tirer un récipient stérile que l'on pourra utiliser pour le broyage.
- Introduire aseptiquement la quantité nécessaire (25g) du produit à analyser.
- Ajouter à l'aide d'une éprouvette graduée stérile, le volume du solvant (eau physiologique stérile) qui est 225ml nécessaire pour obtenir la solution mère de 1/10 ou 10^{-1} .

❖ **Préparation des dilutions (décimales) :**

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

La préparation des dilutions décimales est réalisée comme suite :

- Préparer une série de tubes contenant chacun 9ml d'eau physiologique.
- Introduire 1 ml de solution mère dans le premier tube d'eau précédent, on obtiendra une dilution 1/10.
- Prélever en suite 1ml de dilution 1/10 et le porté dans un 2ème tube d'eau physiologique, ce qui donnera une dilution de 10^{-2} , on procède de la même façon jusqu'à l'obtention de la dilution recherchée.

III-1- Recherche et dénombrement des moisissures :

Les moisissures sont des champignons filamenteux, aérobie, acidophile (pH=3 à 7) et mésophile, se développe 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, 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} , 10^{-3} , sont mises sur une surface solide OGA.
- Etaler 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 de ces boîtes à 20-25°C pendant 5jour.

➤ **Lecture**

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

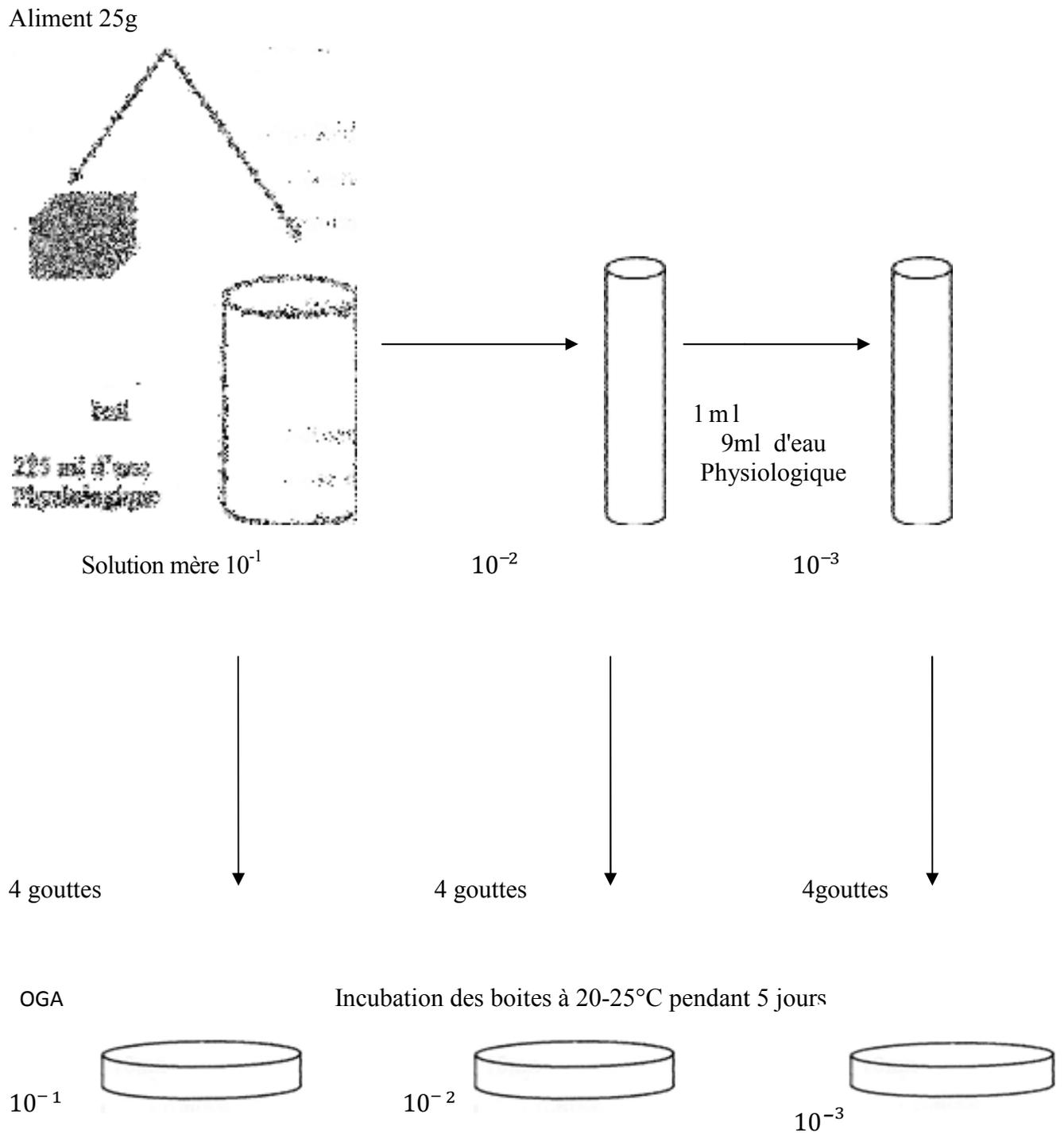


Figure n°03 : Recherche et dénombrement des moisissures (original).

III-2- Recherche des spores de Clostridium Sulfito-Réducteur : Selon la norme (ISO 6649)

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

Le Clostridium Sulfito-Réducteur est un bacille de longueur de 3 à 4µm et d'une largeur de 1µm, isolé ou en courtes chaînettes, 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-Réducteur 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 de *Clostridium* qui réduisent le sulfite en sulfure) et l'Alun de fer qui permet la formation d'un complexe noir entre le fer et le sulfure réduit par *le Clostridium*.

➤ **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 8 à 10mn
- Puis à un refroidissement immédiat à l'eau de robinet, dans le but d'éliminer la forme végétative et garder uniquement la forme sporulée.

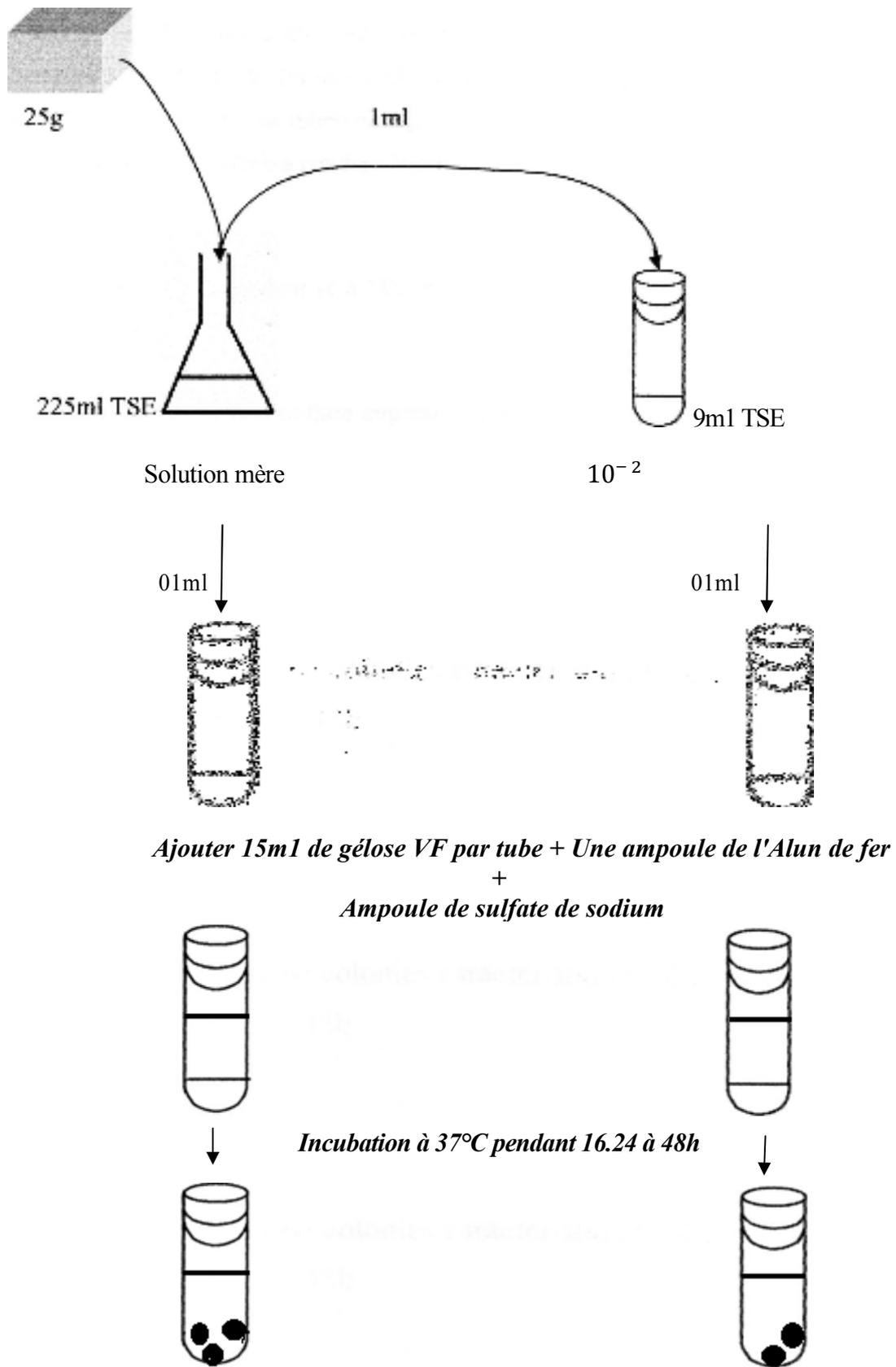


Figure n°04: Recherche des spores de Clostridium Sulfito-Réducteurs (original).

- A partir de ces dilutions, porter aseptiquement 1ml de chaque dilution en double dans deux tubes à vis stérile de 16mm de diamètre , puis ajouter environ 15ml de gélose VF prête a l'emploi dans chaque tube(voir figure).
- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30mn.

❖ **Incubation** :

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

➤ **Lecture** :

La première lecture doit se faire impérativement à 16h 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 0.5mm.
- Dans le cas où il n'y a pas de colonies caractéristiques ré-incuber le tube et effectuer une 2ème lecture au bout de 24h voire 48h.

IV- Etude statistique :

On calcule pour les résultats de chaque analyse effectuée sur les deux variétés de couscous la moyenne et l'écart type selon le test de NEWMAN-keuls et de FISHER (Voir annexe 03).

Notre stage pratique à été effectué au niveau de l'entreprise MOULA PÂTE et nous avons tracé comme objectif l'étude de l'influence du blé dur sur la qualité physico-chimique et organoleptique du couscous.

- ✓ Le contrôle de la matière première : le blé (local et importé), la semoule (local et importé).
- ✓ Le contrôle du produit fini (les deux types de couscous obtenus).

I-Résultats et discussion des analyses effectuées sur les grains de blé :

I-1- Le taux d'impuretés dans le blé dur local et importé

Les résultats des impuretés sont représentés dans le tableau VII

Tableau VII: Taux d'impureté dans le blé dur local et importé en g/100g

Les impuretés	Le blé dur local %	Le blé dur importé %	Norme(*)
GRAINS SAINS.....	66.47	94.90	
GRAINS MITADINES.....	23.44	01.40	<20
GRAINS DE BLETENDRE.....	00.20	00.20	
GRAINS MAIGRES.....	00.80	00.40	1
GRAINS CASSES.....	04.36	02.16	≤6
GRAINS MOUCHETES.....	00.60	00.12	2
GRAINS COLORES DU GERME.....	00.76	00.40	
GRAINS PIQUES.....	/	/	
GRAINS DEGERMES.....	00.32	/	
GRAINS BOUTES.....	00.44	/	
GRAINS PUNAISES.....	/	/	
GRAINS CECIDOMYIES.....	00.24	00.12	
GRAINS FUSARIES.....	/	/	
GRAINS GERMES.....	/	/	
GRAINS CARIES.....	/	/	
GRAINS CHAUFFES.....	/	/	
GRAINSCOLORES.....	/	/	
GRAINS CARIES.....	/	/	
GRAINS AVARIES... ..	/	/	
GRAINES ETRANGERES pour bétail....	01.68	/	
MATIERES INERTES.....	00.16	00.08	
GRAINES DE MAUVAISES HERBES	00.36	/ /	
ERGOT.....	/		

Le taux des impuretés influe sur le rendement des lots de blé examinés (qualité technologique des lots de blé) et l'aspect du produit fini, certaines impuretés sont toxiques pour le consommateur (nielles, ergots). D'autres peuvent endommager les bilans quantitatifs de mouture (débris métalliques, pierres...).

D'après les résultats recueillis sur le tableau, nous constatons que les échantillons de blé dur local ont un taux élevé de mitadinage, de grains cassés, de grains d'orge et grains de mauvaises herbes. Le mitadinage a une influence directe sur la qualité organoleptique de la semoule et de produit fini (couscous).

Les blés secs et vitreux et surtout les blés durs sont plus sensibles aux chocs au cours du transport et de la manutention. Le nettoyage est conduit pour éliminer une grande partie de grains cassés du même pour les grains d'orge et les grains de mauvaises herbes.

Nous remarquons que le taux de blé moucheté et le taux de blé maigre dans les deux variétés de blé dur sont conformes aux normes.

En comparant entre les deux échantillons de blé (local et importé), nous remarquons que le taux d'impuretés présent dans le blé local est plus élevé que celui du blé importé. Ceci pourrait nous indiquer que le blé importé est d'une qualité supérieure par rapport au blé local donc nous prévoyons un rendement semoulier quantitatif et qualitatif plus important pour le blé importé.

I-2-La masse à hectolitre (poids spécifique)

Les résultats du poids spécifique sont représentés dans le tableau VIII:

Tableau VIII : Le poids spécifique du blé dur local & importation :

	Le poids spécifique KG/HL			Norme NA
	1 ^{ème} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Blé dur local	79	78,2	78,6	>78
Blé dur importé	81	81,5	81,25	

La masse à hectolitre est appelée communément poids spécifique (PS) où l'on mesure la quantité des grains au volume. Elle présente un intérêt commercial ; elle est

généralement prise en compte dans les contrats de transactions commerciales.

Les résultats obtenus sont conformes aux normes préconisées, le poids spécifique du blé dur importé est le plus élevé (81.25 Kg/hl) ce qui donne un rendement appréciable en semoule.

La norme Algérienne précise un poids spécifique supérieur à 78 Kg/hl pour le blé dur.

I-3- Le poids de 1000 grains (PMG)

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

Tableau IX: La masse de 1000 grains du blé dur (local et importé)

	PMG (g)			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Blé dur local	39,68	39,92	39,8	45
Blé dur importé	43,67	43,54	43,61	

Nos résultats sont conformes aux normes, le PMG est de 39,8g pour le blé dur local et de 43,61g pour le blé dur importé, considéré comme un facteur déterminant du rendement semoulier des grains. Il est selon la norme Algérienne 45g pour le blé dur.

En comparant entre les valeurs obtenues pour les deux échantillons de blé (local et importé), nous remarquons que le PMG du blé importé est plus élevé du PMG du blé dur local.

Selon Bennerot et Galais (1992), le PMG est un critère variétal pouvant subir des fluctuations liées particulièrement à l'échaudage (accident physiologique due à un déficit hydrique ayant pour conséquence un dessèchement du grain avant maturation).

1-4- Calibrage des grains

Les résultats du calibrage des grains sont représentés dans le tableau X :

Tableau X : Résultats du calibrage des grains

	Calibrage des grains (%)			
	prise d'essai	tamis 2,8mm	tamis 2,5 mm	tamis 2,2mm
Blé dur local	100g	67,5	23,5	9
Blé dur importé		74	20,5	5,5

Les résultats du calibrage obtenus sont totalement différents. Ceci est normal car la taille des grains diffère. En effet, 67.5% des grains du blé local et 74% des grains du blé dur importé sont retenus par le tamis 2.8 mm, ce qui est appréciable, selon Dexter et Matsuo (1980), les variétés à gros grains sont généralement préférées aux variétés à petits grains.

En effet selon Lampereur *et al.*, (1997), les variétés à gros grains donnent de meilleurs rendements en semoules.

I-5- La teneur en eau

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

Tableau XI : Teneur en eau des grains de blé.

	Humidité (%)			Normes NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Blé dur local	9,3	9,34	9,32	<14
Blé dur importé	12	10,78	11,39	

Nos résultats sont conformes aux normes, le taux d'humidité est de 9,32% pour le blé dur local et de 11,39% pour le blé dur importé.

Godon et William (1998), définissent la teneur en eau comme étant la quantité en gramme d'eau rapportée à 100g de substances sèches (teneur en eau %/ms). Elle nous permet donc de ramener tous nos résultats à la même échelle de grandeur, à savoir la matière sèche.

La teneur en eau des deux échantillons étudiés est conforme aux normes, mais nous remarquons une différence de taux d'humidité entre les deux types de blé, où le taux d'humidité du blé dur importé est moins élevé. Plus l'humidité est faible mieux 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%, ce qui donne un bon rendement en semoule Godon et William (1998).

I-6- Taux de cendre

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

Tableau XII : Taux de cendres des grains de blé.

	Taux de cendre (%)			norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Blé dur local	1,93	1,98	1,96	1,6-2,1
Blé dur importé	1,7	1,64	1,67	

Les matières minérales sont des constituants mineurs dans les grains et la semoule (Godon et Loisel, 1997).

Les résultats obtenus sont conformes aux normes, le taux de cendre des grains de blé local est de 1.96% et de 1,67% de blé dur importé.

Selon Godon et William (1998), la teneur des grains en matières minérales ainsi que la composition de ces matières minérales sont relativement fixes quelque soit les conditions externes de culture.

Nous remarquons que les deux types de blé dur mettent en évidence une conformité de taux de cendre par rapport aux normes exigées. Cependant, le taux cendre dans le blé dur local est supérieur à celui du blé dur importé.

Selon Guezlane (1993), la teneur en matières minérales augmente en allant de l'albumen central vers la périphérie, et la teneur en cendre des semoules augmente avec la progression de la mouture.

I-7-Teneur en protéines totales

Les résultats de la teneur en protéines sont représentés dans le tableau XIII :

Tableau XIII: La teneur en protéines totales des grains de blé.

	Teneur en protéines (%)			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Blé dur local	12,9	12,36	12,63	11-15
Blé dur importé	15	14,98	14,99	

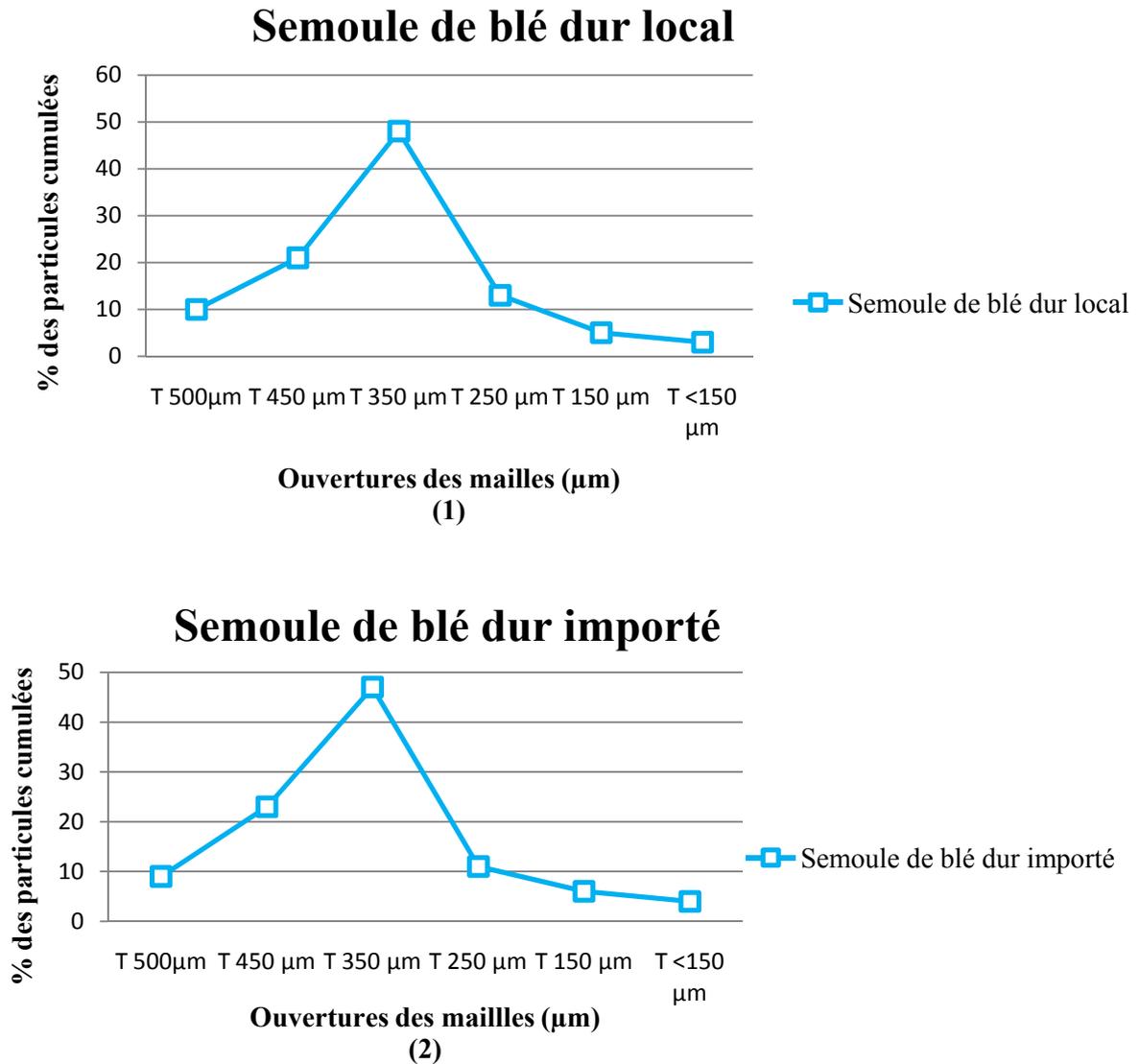
Nos résultats sont conformes aux normes, la teneur en protéines est de 12.13% pour le blé dur local et de 14,99%

Du point de vue technologique, si la teneur en protéines des grains est supérieure à 12%MS elles sont à retenir. Cependant le dosage d'azote est une analyse quantitative qui ne renseigne pas sur la qualité des protéines particulièrement importantes en pastification ou fabrication du couscous.

La teneur en protéines joue 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-Résultats et discussion des analyses effectuées sur la semoule de blé dur local et importé :

II-1-La granulométrie des semoules



(1) : Pourcentage des particules de semoule de blé dur local cumulées en fonction des ouvertures des mailles.

(2): Pourcentage des particules de semoule de blé dur importé cumulées fonction des ouvertures des mailles.

Figure n° 05 : La granulométrie de la semoule de blé dur local et de la semoule de blé dur d'importation.

La détermination de la taille des particules est un critère déterminant de l'homogénéité des particules de semoule.

Les semoules étudiées ont une granulométrie homogène, la taille des particules de la semoule des deux différents blés durs varie entre 350µm et 450µm pour la semoule (voir figure n°06).

Dans les deux cas, les semoules appartiennent au type de semoules superfines, dont la granulométrie est comprise entre 190 et 550 µm, elles sont destinées à la fabrication du couscous et des pâtes alimentaires.

Le couscous fabriqué à partir de semoule fine a un aspect meilleur. 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, 2006 (c)).

Durant l'étape du malaxage, la semoule fine absorbe plus d'eau que la semoule moyenne et grosse. Cette forte absorption n'entraîne pas une augmentation de la production de couscous, du fait que la semoule est fine durant l'hydratation forme un taux élevé de « boules » qui diminuent le rendement en couscous (Anonyme, 2006 (c)).

II-2- Teneur en eau

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

Tableau XI : Teneur en eau des semoules.

	L'humidité (%)			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Semoule de blé dur locale	13,7	13,58	13,64	<14,5
Semoule de blé dur importée	14,01	14,36	14,19	

Les valeurs de la teneur en eau obtenues sont conformes aux normes (14.19% pour la semoule de blé dur importé et 13,64% pour la semoule de blé dur local).

Dans le cas des semoules de blé dur qui seront transformées en couscous, l'humidité 14,19% et l'humidité 12,64% sont toutes deux acceptées car les semoules viennent du moulin directement vers la ligne de fabrication du couscous.

Selon Feillet (2000), l'humidité est un facteur crucial dans l'évolution des phénomènes biologiques. Le contrôle de l'humidité des semoules permet de minimiser le risque d'altérations lors du conditionnement et du stockage, plus la teneur en eau est faible, plus la qualité de la semoule est meilleure.

L'humidité de la semoule de blé dur est très élevée car les grains ont subi un conditionnement avant la mouture qui comporte une humidification à 14%, un repos de 24h puis une humidification à 17% (ce qui permet d'améliorer le rendement en semoule).

Les résultats de la semoule pour les deux blés durs nous amènent à conclure que le taux d'humidité de la semoule issue de blé dur d'importation est plus élevé par rapport à celui du blé dur local. Cela s'explique par le fait que le blé d'importation des pays nordiques (le Canada) présente un taux d'humidité élevé par rapport au blé local. Ce phénomène est directement lié au climat de chaque région.

II-3- Dosage du taux de cendres

Les résultats obtenus sont groupés dans le tableau XV :

Tableau XV : Taux de cendre des semoules

	Taux de cendre (%)			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Semoule de blé dur local	0,93	0,92	0,925	0,8-1,1
Semoule de blé dur importé	0,8	0,86	0,83	

Le taux de cendres dans les échantillons analysés est acceptable et conforme aux normes, il est de l'ordre de 0.925% pour la semoule de blé dur local et de 0.80% pour la semoule de blé dur importé.

Le taux de minéralisation des semoules est en fonction du degré de minéralisation des grains,

mais surtout des paramètres du conditionnement et du diagramme de mouture.

Nous remarquons que la teneur en cendre de la semoule est inférieure à la teneur en cendres de la semoule, ceci est probablement lié à la provenance de la semoule du centre de l'albumen qui est pauvre en cendre qui va de 0.3 % à 0.4% (pauvre en éléments minéraux), ce qui est en accord avec les résultats de Bencharif (1996), qui montrent que le taux de cendres dépend des parties du grain contenu dans cette semoule.

De même que Guezlane *etal.*(1996), ont observé que la teneur en matières minérales augmente en allant de l'albumen central vers la périphérie, et que la teneur en cendre des semoules augmente avec la progression de la mouture.

D'après les résultats, le taux de cendre de la semoule de blé local est supérieur au taux de cendre de la semoule de blé importé. Par ailleurs les résultats obtenus des semoules montrent qu'il y a une relation entre le taux de cendres et la qualité du blé utilisé.

Selon la norme NA.732/1991, le taux de cendres est la quantité de matières minérales, principalement contenues dans le son et encore mélangées à la semoule. Plus la semoule est pure, plus le taux de cendres est faible. Ce taux est réglementé par les pouvoirs publics et permet le classement des semoules selon un certain nombre de critères bien déterminé. Plus le taux d'extraction est élevé plus le taux de cendres diminue.

II-4-Dosage de la teneur en gluten**II-4-1-Teneur en gluten sec**

Les résultats obtenus sont groupés dans le tableau XVI :

Tableau XVI : Teneur en gluten sec des semoules

	Teneur en gluten sec (%)			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Semoule de blé dur local	12,24	12,20	12,22	11-13
semoule de blé dur importé	12,80	12,87	12,84	

Les résultats obtenus sont conformes aux normes, la teneur en gluten sec de la semoule de blé dur local est de 12,22% et celle de la semoule de blé dur d'importation est de 12.69% et dans les deux cas, les semoules possèdent une bonne qualité culinaire.

Selon Matveef (1966), les variétés de blé présentant une teneur en gluten sec inférieur à 11%MS sont considérées comme des blés de force et toute variété présentant une teneur comprise entre 11 et 15% MS sont considérées comme des blés de bonne qualité pastière et les blés dont la teneur en gluten est supérieure à 15% comme de très bonne valeur pasifiante.

Le gluten est formé par des liaisons disulfures (interactions hydrophobes) entre les gluténines et des gliadines (protéines), il se caractérise par des propriétés viscoélastiques (élasticité, plasticité, ténacité), il permet à la pâte de gonfler au cours de la cuisson. L'importance du gluten réside lors de la cuisson, où il forme un réseau qui emprisonne les grains d'amidon afin qu'ils ne soient pas libérés (perdus) dans l'eau et par la suite le couscous devient collant.

II-4-2- Teneur en gluten humide :

Les résultats obtenus sont groupés dans le tableau XVII :

Tableau XVII: Teneur en gluten humide des semoules

	Teneur en gluten humide (%)		
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne
Semoule de blé dur local	34,82	34,9	34,86
Semoule de blé dur importé	36,21	36,33	36,27

Les résultats obtenus sont conformes aux normes, la teneur en gluten humide de la semoule de blé local est de 34.86% et celle de la semoule de blé importé est de 36.27%.

Selon Godon (1991), le gluten humide contient jusqu'à 77% d'eau c'est-à-dire à peu près deux parties d'eau pour une partie de matière sèche.

Selon la norme NA.735/1989 explique que la plus grande partie du grain est constitué par l'albumen, qui est le tissu de réserve du grain, cet albumen contient une fraction protéique, le gluten qui emprisonne des grains d'amidon.

Selon Cheftel et *al.*(1997), il y a une relation entre la force de gluten (force de la pâte) et la qualité culinaire du produit fini. D'après les résultats illustrés dans le tableau précédent , nous constatons que la teneur en gluten humide de la semoule issue de blé dur importé est supérieure à celle de la semoule issue de blé dur local.

II-4-3-Le gluten index

Les résultats obtenus sont groupés dans le tableau XVIII :

Tableau XVIII: Gluten index des semoules

	Gluten index			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Semoule locale	65,28	65,27	65,28	<100
Semoule importée	74,21	74,21	74,21	

Les résultats obtenus sont conformes à la norme. Les deux semoules analysées présentent un gluten index de force moyenne, 65,28% pour la semoule de blé dur local et 74,21% pour la semoule de blé dur importé.

Selon Gondon (1991), un gluten de force doit avoir un gluten index supérieur à 60%.

D'après Christine (2010), le principe de cette méthode est de mesurer la quantité de gluten retenue sur une grille perforée après centrifugation, et le gluten est dit équilibré si le GI est de 60 à 80%.

I-4-4- Coefficient d'hydratation

Les résultats obtenus sont groupés dans le tableau XIX :

Tableau XIX: Coefficient d'hydratation des semoules

	Coefficient d'hydratation (%)			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Semoule de blé dur local	64,93	65,13	65,03	50-70
Semoule de blé dur importé	67,83	67,79	67,81	

Les résultats indiquent que le coefficient d'hydratation de la semoule de blé dur importé est de 67.81%, elle est plus élevée que celle de la semoule de blé dur local qui est de 65.40%.

Selon Guezlane (1993), le paramètre le plus influant sur le rendement de l'opération de roulage est le taux d'hydratation des semoules. En effet, une hydratation insuffisante a pour effet de diminuer de manière très importante le taux de roulage au profil des fractions fines, la forte hydratation a une influence marquée sur la facilité de roulage, le rendement en couscous, l'indice de gonflement et la délitescence.

II-5-La teneur en protéine

Les résultats obtenus sont groupés dans le tableau XX

Tableau XX: Teneur en protéines des semoules

	Teneur en protéines totale (%)			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Semoule locale	10,70	11,30	11,00	10-15
Semoule importée	14,20	13,95	14,08	

La semoule de blé dur importé est plu riche en protéines par rapport à la semoule de blé dur local, cela est dû à la richesse des grains de blé dur en protéines qui est selon Villegas (1970), un caractère génétique transmissible, mais les conditions agro-climatiques (sol, climat...) influent aussi sur la teneur en protéines.

Nos résultats sont conformes aux normes indiquées par kovacs et *al.*(1997), qui indiquent que la teneur en protéines des farines et semoules est comprise entre 9 et 15%.

La semoule de blé dur importé est plus riche en protéines (14,08% MS) alors que celle de la semoule de blé dur local est de (11% MS), ce qui revient à dire qu'il y a une relation entre la teneur en protéines des semoules et la qualité du blé dur utilisée.

De nombreux auteurs notamment Dexter et Matsuo (1977) ; Feillet (1994), ont montré que les protéines des semoules jouent un rôle prépondérant dans la détermination des propriétés rhéologiques et la qualité culinaire.

II-6- L'acidité grasse

Les résultats obtenus sont groupés dans le tableau XXI :

Tableau XXI: Acidité grasse des semoules

	L'acidité grasse (g H₂ SO₄ /100g MS)			Norme NA
	1^{er} essai	2^{ème} essai	Moyenne	
Semoule locale	0,045	0,046	0,0455	≤ 0,06
Semoule importée	0,054	0,054	0,054	

Les résultats sont conformes aux normes, l'acidité grasse de la semoule de blé dur est de 0,0455g H₂O SO₄ /100g MS) qui est proche à celle de la semoule de blé dur importé H₂O SO₄/100g MS). Cela se traduit par les conditions de stockage des deux qui sont similaires. L'acidité grasse est un indicateur de l'état de bonne conservation du blé, semoule et produits de cette semoule. En effet, au cours de la conservation, les lipides ont tendances à se dégrader en se transformant en acides gras libres (Anonyme, 1991).

III-Résultats et discussion des analyses effectuées sur le couscous :

A l'état cuit, les grains de couscous doivent rester individualisés sans se déliter, ni se coller contre eux (Guezlane et Abecassis, 1991).

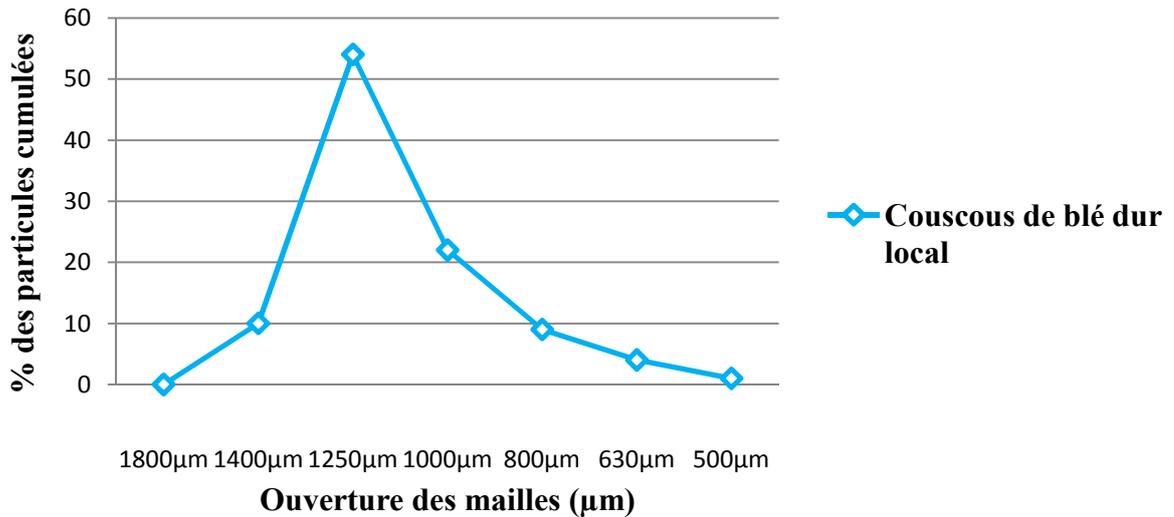
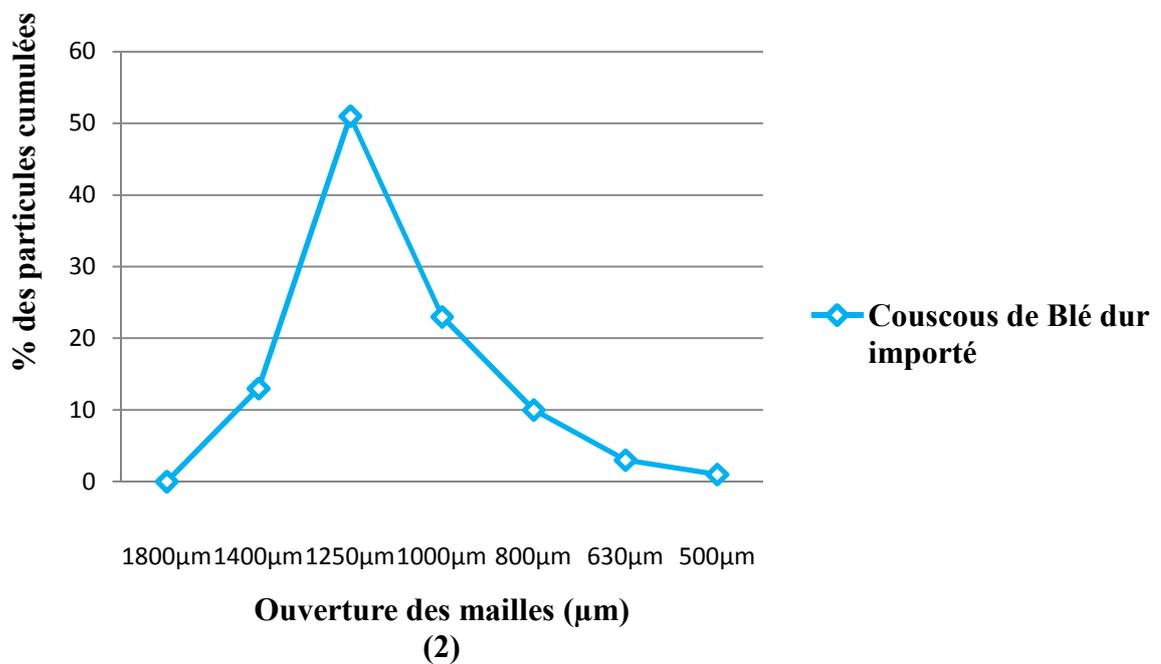
III-1- La granulométrie (taux d'affleurement) :**Couscous de blé dur local****Couscous de Blé dur importé**

Figure n°06 : La granulométrie du couscous de blé dur local et du couscous de blé dur d'importation.

Les deux types de couscous fabriqués à partir de blé dur local et importé présentent une granulométrie homogène dont la D50 des particules varie entre 1250 μm et 1000 μm . Cependant, nous constatons que le couscous fabriqué à partir de blé dur importé présente une granulométrie qui ne dépasse pas les 51% μm remarquée à 1250 μm , alors que le couscous fabriqué à partir de blé dur local a une granulométrie présente un peu plus élevée (voir figure 06).

La taille des particules est un critère déterminant de l'homogénéité des grains de couscous après séchage, ce critère est en fonction des conditions de l'opération du roulage. L'analyse granulométrique permet de déterminer la granulométrie médiane (D50) des particules.

Dans les deux cas, nous remarquons qu'il n'y a pas une grande différence dans la granulométrie des particules, ceci s'explique par la granulométrie médiane des semoules mises en œuvre.

Selon Belaid *et al.* (1994), la facilité de roulage et l'obtention d'une meilleure dispersion sont aisées avec les semoules de diamètre (300 μm), ainsi que la température du séchage du couscous donne une bonne régularité et une meilleure dispersion de la taille granulométrique du couscous.

III-2- La teneur en eau

Les résultats de la teneur en eau du couscous sont représentés dans le tableau XXII:

Tableau XXII: Teneur en eau des couscous

	L'humidité (%)			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
couscous local	10,83	10,71	10,77	< 13
couscous importé	12,27	12,32	12,30	

Les résultats sont conformes aux normes, l'humidité varie entre 10,83% et 10,71% avec une moyenne de 10,77% pour le couscous de blé dur local alors que pour le couscous de blé dur importé l'humidité varie entre 12,27% et 12,32% avec une moyenne de 12,295%.

Ce dernier présente une humidité plus élevée, mais nous ne pouvons pas dire que cette humidité relativement élevée peut influencer la qualité du couscous. De plus, le taux d'humidité final du couscous est influencé par le temps et la température de stockage. L'humidité du couscous de blé dur local est faible, ce qui est nécessaire pour bien enlever l'eau et assurer une meilleure conservation.

La détermination de la teneur en eau du couscous (après séchage) est très importante pour le stockage et la conservation du produit fini, plus l'humidité est faible, plus la conservation est meilleure.

Tableau XXIII : Etude statistique des résultats du taux d'humidité des couscous

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T	C.V(%)	t ($\alpha= 5\%$)
Humidité	0,01	2	550,44	0,0011	0,07	0,60	++

L'étude statistique des résultats de l'humidité a montré que la différence entre les deux échantillons de couscous est hautement significative au seuil de 5%.

III-3-Le taux de cendre

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

Tableau XXIV : Taux de cendre des couscous

	Taux de cendre (%)			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
Couscous de blé dur local	0,90	0,88	0,89	≈ 0,9
Couscous de blé dur importé	0,80	0,82	0,81	

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que le taux de cendres de couscous fabriqué à partir de semoule issue de blé 100% importé est faible par rapport au couscous fabriqué à partir de semoule issue de blé 100% local, c'est un indice de pureté. Cela est dû au fait que le blé importé est sain, il ne contient pas un taux élevé d'impuretés et l'étape de nettoyage est

efficace, ce qui nous donne une semoule d'un faible taux de cendres et par la suite un couscous avec un aspect pur et non piqué.

Tableau XXV : Etude statistique des résultats du taux de cendre des couscous

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T	C.V(%)	t ($\alpha= 5\%$)
Taux de cendre	0,01	2	32,00	0,0265	0,01	1,70	+

L'étude statistique des résultats du taux de cendre a montré que la différence entre les deux échantillons de couscous est significative au seuil de 5%.

III-4- Mesure de l'acidité grasse

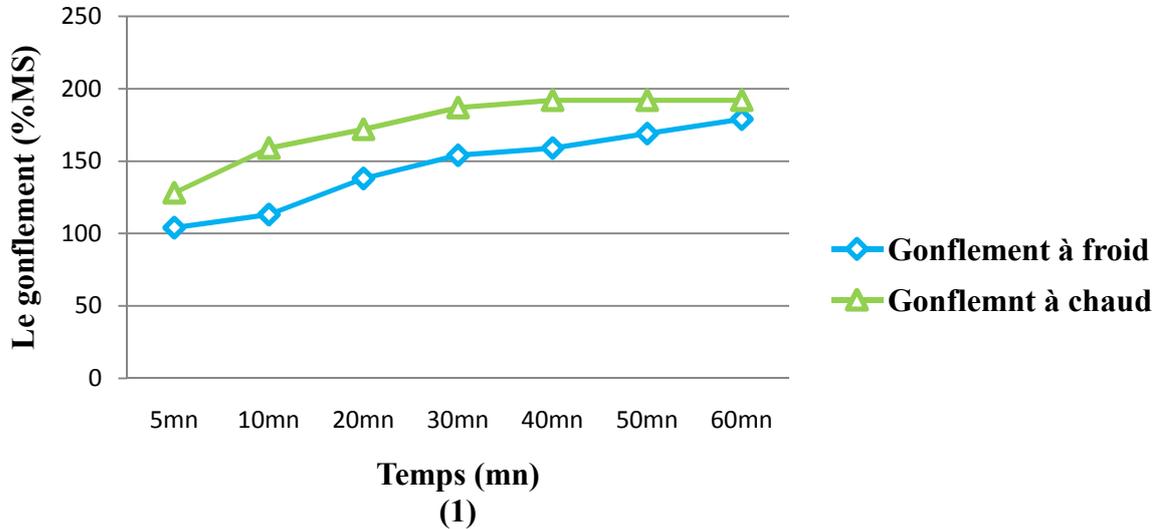
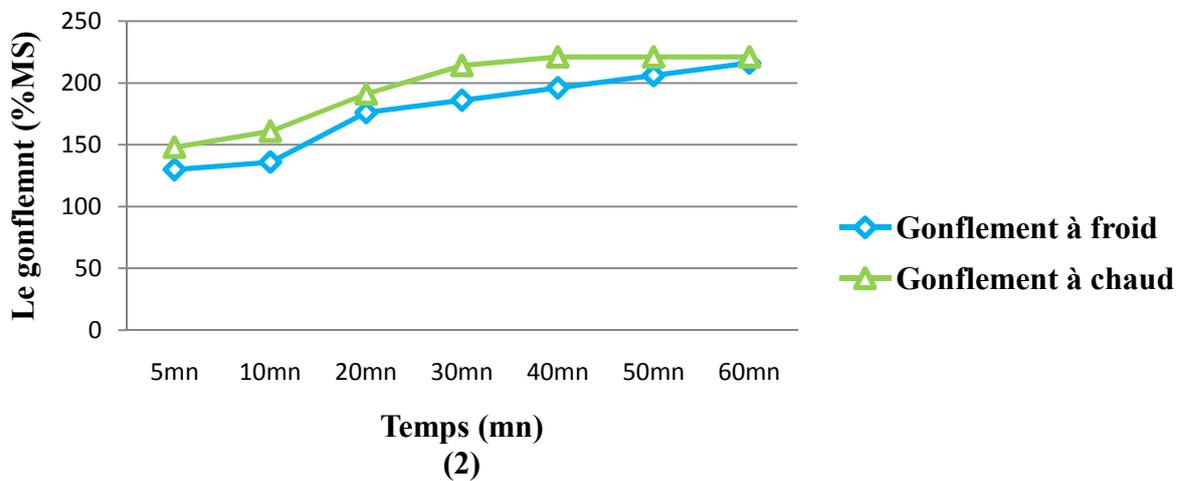
Les résultats de l'acidité grasse du couscous sont représentés dans le tableau XXVI:

Tableau XXVI : Acidité grasse des couscous

	L'acidité grasse (g H ₂ SO ₄ / 100g MS)			Norme NA
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	
couscous local	0,024	0,023	0,024	≤0,06
couscous importé	0,030	0,030	0,030	

Les résultats sont conformes aux normes, ils sont très proches pour les deux types (0.024 g H₂ SO₄ / 100g MS pour le couscous de blé dur local et de 0.030 g H₂ SO₄ / 100g MS pour le couscous de blé dur importé). Nous pouvons dire que les couscous analysés ainsi que les semoules d'où ils proviennent, sont conservés dans des bonnes conditions d'humidité et de température.

L'acidité grasse est un indicateur de l'état de bonne conservation du blé, semoule et couscous. En effet, au cours de la conservation, les lipides ont tendance à se dégrader en se transformant en acides gras libres (Anonyme, 1991)

III-5- Le gonflement à froid et à chaud**Le gonflement à froid et à chaud du couscous de blé dur local****Le gonflement à froid et à chaud du couscous de blé dur importé**

(1) : Le gonflement à froid et à chaud du couscous de blé dur local.

(2) : Le gonflement à froid et à chaud du couscous de blé dur importé.

Figure n° 07: Le gonflement à froid et à chaud du couscous de blé local et du couscous de blé d'importation.

Les résultats du gonflement à froid et à chaud du couscous sont représentés dans la figure n°=8

Les échantillons analysés ont un bon gonflement en particulier le couscous de blé dur importé.

Le gonflement à froid du couscous de blé dur importé est le meilleur, il atteint 130% après 5 mn, 186% après 30 mn et 216% après 1 h qui est le seuil de gonflement le plus élevé car il est riche en fibres qui peuvent gonfler en absorbant jusqu'à 20 fois leurs poids d'eau.

Le gonflement à froid du couscous de blé dur local est bon mais plus faible que le précédent, il est de 104% après 5 mn, et de 154% après 30 mn alors que le seuil maximal est de 179% seulement après 1 h.

En comparant le gonflement à froid de l'échantillon à celui à chaud, nous remarquons que la vitesse du gonflement à chaud est plus rapide. Ceci s'explique par le bouleversement de la structure native de l'amidon qui en se gélatisant à 100°C devient plus hydrophile et sa capacité de gonflement s'accroît.

Le gonflement à chaud du couscous de blé dur importé est meilleur, il est de 148% après 5 mn (130% à froid) et atteint 219% à froid et à chaud après 1 h. Tandis que pour le couscous de blé dur local le gonflement est moins important, il est de 128% après 5 mn (104% à froid) et atteint 182% après 1h (180% à froid)

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

D'après Guezlane (1993), l'utilisation d'une pression de vapeur et /ou d'une durée de cuisson plus importante a pour effet d'accroître le gonflement du couscous à l'eau froide. Alors que l'élévation de la température du séchage induit à une diminution du gonflement, notamment dans l'eau froide, l'auteur suggère aussi que si les agglomérats ne sont pas suffisamment cohérents, ils vont avoir tendance à se déliter lorsqu'ils sont mis en contact avec l'eau, au contraire, la formation d'agglomérat plus dense va donner des produits s'hydratant plus lentement, surtout dans l'eau froide.

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

Selon Cheftel et al.(1997), un traitement thermique très élevé conduit à l'hydrolyse partielle des molécules constituant de l'amidon, il y aura donc une diminution du gonflement des granulés d'amidon.

III-6- La prise en masse du couscous cuit (IPMT)

Les résultats de comportement de l'amidon sont représentés dans le tableau XXVII

Tableau XXVII: IPMT des couscous

	IPMT (%)		
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne
couscous local	73	74	73,50
couscous importé	69,45	69,7	69,58

La prise en masse du couscous cuit constitue une des caractéristiques principales de sa qualité organoleptique et c'est un facteur déterminant de sa qualité culinaire (Guezlane et Abecassis, 1991). Elle rend compte de l'état physique d'agglomération des granules du couscous au cours du traitement à la vapeur et correspond au pourcentage en masse du couscous formant de gros agglomérats (> 3150gm) pendant la réhydratation.

Les résultats obtenus montrent que la prise en masse du couscous de blé dur local 73.5% est légèrement supérieure à celle du couscous de blé dur importé 69,58%, cela montre qu'il y a une relation entre la qualité de blé dur utilisé et la qualité du couscous suivant les mêmes opérations de précuisson et du séchage.

Yettou (1998), a trouvé que l'IPMT est compris entre 61.1% et 90% pour le couscous moyen. Les travaux de Guezlane (1993) ont révélé que l'augmentation du taux d'hydratation des semoules et la durée de malaxage influent sur cet indice. La formation du couscous trop compacte à pour conséquence de donner des produits collants ce qui est un facteur déterminant de la qualité culinaire du couscous.

Pour ce dernier, les matières solubilisées durant la cuisson ne sont pas perdues mais restent sur la surface des produits cuits (Debbouz et *al.*,1994 et Debbouz et Donnelly, 1996).

Les mécanismes physico-chimiques conduisant à la dispersion du collant ne sont pas encore élucidés. Le traitement à la vapeur à pour effet de gélatiniser l'amidon pour le rendre hydrophile.

La prise en masse mesurée par tamisage diminue avec la taille des particules (Yettou, 1998). Contrairement aux résultats trouvés par Guezlane et Abecassis (1991), qui observent que le couscous à faible diamètre présente un indice de prise en masse le plus faible.

Tableau XXVIII : Etude statistique des résultats de l'IPMT des couscous

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T	C.V(%)	t ($\alpha= 5\%$)
IPMT	0,53	2	58,00	0,0135	0,52	0,70	+

L'étude statistique des résultats de l'IPMT a montré que la différence entre les deux échantillons de couscous est significative au seuil de 5%.

III-6- La délitescence

Les résultats de la délitescence du couscous sont représentés par l'historgramme suivant :

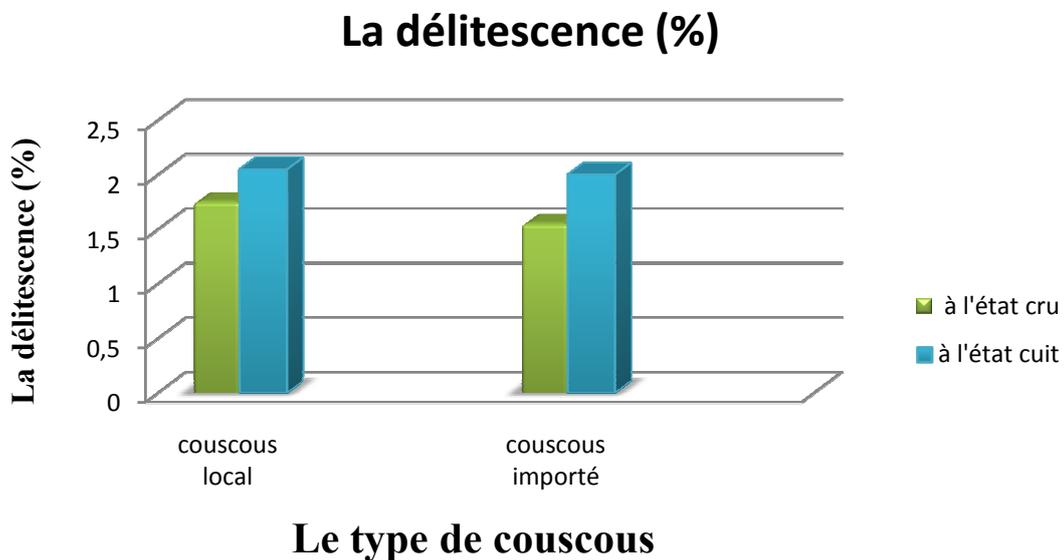


Figure 8 : La délitescence des couscous à l'état cru et cuit

Le couscous de blé dur importé présente la délitescence légèrement plus faible 1.55% à l'état cru et 2% à l'état cuit, alors que la délitescence du couscous de blé dur local est de 1.75% à

l'état cru et de 2,05% à l'état cuit. En respectant, le même procédé de séchage et pour une même température (Zone1 :133 ,4°C. et Zone2 :125,3°C.)

La qualité du produit dépend de la matière mise en œuvre, quant la particule de couscous est séchée normalement (Anonyme, 1996).

Ce qui nous induit à dire que la qualité fabriqué à partir de blé d'importation est meilleure que celle du couscous fabriqué à partir de blé dur local

Selon Guezlane (1993), un « bon » couscous doit absorber environ 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.

Elle nous renseigne sur l'état de désagrégation du couscous ; elle constitue un paramètre de qualité culinaire du couscous et un critère fondamental de la qualité organoleptique du couscous cuit (Yettou et *al.*,2000).

Selon Badaoui (1984), l'évolution de la température du 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 trop lâche, suite à une perte importante de matières sèches (délitescence).

Tableau XXIX : Etude statistique des résultats de la délitescence des couscous

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T	C.V(%)	t ($\alpha= 5\%$)
Délitescence à l'état cru	0,04	2	2,00	0,2940	0,15	8,80	–
Délitescence à l'état cuit	0,21	2	0,02	0,8865	0,33	16,10	–

L'étude statistique des résultats de la délitescence du couscous cru ainsi qu'à l'état cuit a montré que la différence entre les deux échantillons de couscous n'est pas significative au seuil de 5%.

III-7 Le comportement de l'amidon

Les résultats de comportement de l'amidon sont représentés dans le tableau XXX :

Tableau XXX : Comportement de l'amidon des couscous

	Comportement de l'amidon					
	IS			IG		
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essi	Moyenne	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essi	Moyenne
couscous local	8,3	8,23	8,265	360,23	360,31	360,27
couscous importé	7,52	7,5	7,51	345,50	345,56	345,53

L'indice de gonflement (IG) permet d'apprécier le degré de gélatinisation de l'amidon, il est défini par le poids du culot rapporté au poids initial de l'échantillon diminué du poids de l'extrait sec. Les (IG) obtenus sont 360.27% pour le couscous de blé dur local et 345.53% pour le couscous de blé dur d'importation.

L'indice de solubilité (IS) permet d'apprécier le degré de désagrégation de l'amidon, il est défini par le poids de la substance dissoute de l'échantillon. Les IS obtenus sont respectivement de 8.265 % et de 7.51% pour le couscous de blé local et le couscous de blé importé.

Selon Guezlane (1993), le comportement de l'amidon se traduit pendant la préparation de la cuisson du couscous, par solubilisation ou gonflement. La qualité du couscous est corrélé à la quantité d'amylose présente dans l'eau de cuisson (IS), plus la teneur en amylose solubilisé est élevée plus l'amylopéctine sera présente à la surface des particules, donnant ainsi des propriétés de collant.

Sur le plan technologique, toute opération susceptible de réduire l'indice de gonflement et/ou la solubilisation de l'amidon devrait améliorer la qualité culinaire des pâtes ou du couscous.

L'étude statistique des résultats du comportement de l'amidon a montré que la différence entre les deux échantillons de couscous est hautement significative au seuil de 5% pour l'indice de solubilité.

Tableau XXXI : Etude statistique des résultats du comportement de l'amidon des couscous

	S.C.E	DDL	TEST F	PROBA	E.T	C.V(%)	t ($\alpha= 5\%$)
Indice de solubilité	0,00	2	430,21	0,0014	0,04	0,50	++
Indice de gonflement	0,00	2	87088,13	0,0001	0,05	0,00	+++

Concernant l'indice de gonflement, la différence entre les deux échantillons de couscous est très hautement significative au seuil de 5%.

III-8- Test de cuisson

Le tableau XXXII représente la moyenne de résultats de deux tests de cuisson des couscous.

Tableau XXXII : Test de cuisson des couscous

	Test de cuisson	
	couscous local	couscous importé
Temps de cuisson	15 mn	15 mn
poids initial	100g	100g
poids final	275	269
Comportement lors de la réhydratation	Ne colle pas, un bon gonflement	Ne colle pas, un bon gonflement
Tenu à la cuisson	Moyenne	très bonne
Granulométrie observée	Uniforme	Très uniforme

Le couscous issu de blé dur importé une fois analysé, présente des propriétés proches à celles du couscous de blé dur local et il n'est pas collant, le degré d'individualisation des grains est satisfaisant et le gonflement est élevé qui sera traduit par une bonne absorption de la sauce, ces propriétés le rendent très apprécié.

Selon Guezlane (1993), un « bon » couscous doit absorber environ 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.

IV- Résultats des analyses microbiologiques :

Nous avons effectué des analyses microbiologiques à fin de connaître la charge bactérienne de chaque couscous

Les résultats des analyses microbiologiques sont représentés dans le tableau XXXIII.

Tableau XXXIII: Analyses microbiologiques de la semoule de blé dur local, semoule de blé dur importé, du couscous de blé dur local et couscous de blé dur importé.

	Résultats des analyses microbiologiques	
	Moisissures NA1210	Clostridium Sulfito-Réducteurs SR46°C./g NA15176
Norme Algérienne	≤ 100 germe/ml	≤ 100 germe/ml
La semoule de blé dur local	Absence	Absence
La semoule de blé dur importé	Absence	Absence
Couscous de blé dur local	Absence	Absence
Couscous de blé dur importé	Absence	Absence

Les analyses microbiologiques effectuées le 20/03/2010 montrent que les échantillons analysés ne contiennent pas de germes. Une absence totale de Clostridium Sulfito-Réducteur est observée donc nous pouvons dire que les produits analysés présentent une bonne qualité microbiologique.

Conclusion générale

A travers cette étude nous avons comparé les résultats des différentes analyses effectuées au niveau de l'entreprise << MOULA PÂTE >> sur les deux échantillons de couscous (couscous de blé dur local et couscous de blé dur importé) afin de mettre en évidence l'impact des différents blés durs utilisés (blé dur local et blé dur importé) sur les propriétés technologiques et la qualité culinaire du couscous de blé dur local en prenant les résultats des analyses effectuées sur le couscous de blé dur importé comme indicateur de qualité meilleur ou inférieur.

Les analyses effectuées montrent que les deux variétés de couscous possèdent une humidité acceptable et conforme aux normes, même si nous remarquons que le taux d'humidité du couscous de blé dur importé est supérieur.

La granulométrie du couscous de blé importé et du couscous de blé local est homogène, elle présente une bonne dispersion, pour une même dimension des granules des deux types, ceci s'explique par la granulométrie médiane des semoules mises en œuvre.

Les analyses de la délitescence, le gonflement et la prise en masse nous ont permis d'apprécier la qualité culinaire des deux variétés de couscous, les résultats obtenus montrent que le pourcentage du collant est faible dans les deux cas, mais plus faible pour le couscous de blé dur importé, ce qui favorise aussi une bonne individualisation des granules lors de la réhydratation.

Le gonflement à chaud et à froid des deux types de couscous est bon, en particulier le couscous de blé dur importé.

La prise en masse du couscous de blé dur local est légèrement supérieure à celle du couscous de blé dur importé, ce qui rend les granules de couscous moins collants à la surface.

Les analyses concernant le comportement de l'amidon montrent que le poids de l'amidon dissout dans le cas du couscous de blé dur local est supérieur à celui pesé pour l'échantillon du couscous de blé dur importé, ce qui permet de dire que la désagrégation de l'amidon est supérieure dans le couscous de blé local et moindre dans le couscous importé, de même pour l'indice de gonflement.

D'après le test de cuisson, nous remarquons que les deux variétés de couscous présentent un bon gonflement lors de la réhydratation, une bonne absorption en eau, ne collent pas surtout le couscous fabriqué à partir de blé dur importé, ils sont de bonne qualité culinaire.

Concernant les analyses microbiologiques, le couscous se trouve concerner que par deux analyses, qui sont la recherche des spores du *Clostridium Sulfito-Réducteur* et la recherche des moisissures, nous avons noté une absence totale des spores et moisissures dans les deux échantillons, ce qui permet de conclure qu'ils sont de bonne qualité microbiologique.

Après comparaison des différents paramètres technologiques, nous pouvons dire que le blé dur utilisé pour la fabrication du couscous influe sur les propriétés technologiques et la qualité culinaire de ce dernier et que d'une manière générale, les propriétés technologiques jouent un rôle très important dans l'appréciation de la qualité culinaire du couscous.

En perspectives, il serait intéressant de compléter ce travail par l'étude de l'influence des différents coupages (blé dur local-blé dur importé) sur la qualité du couscous industriel pour trouver le coupage optimal qui permettrait d'offrir au consommateur un couscous satisfaisant.

- Abecassis J. 1990** : La filière blé dur pâtes alimentaires : apports complémentaires de la technologie et de la génétique dans l'alimentation de la qualité. Paris : Industries alimentaires et agricoles. Vol 107. n° 6. pp 475-482.
- Abecassis J. 1991** : Qualité de blé dur, de la semoule et des pâtes alimentaires. Paris : Industrie des céréales. Vol 107. n° 72. pp 7-11.
- Abecassis J. 1993** : Nouvelles possibilité d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. Paris : Industrie des céréales. Vol 107. n° 81. pp. 25-37.
- Abecassis J. 1996** : Comprendre la qualité : la valeur semoulière. Comment s'explique t- elle ? Montpellier, France : Cereal foods world. Vol 41. n° 4. pp 205-212.
- Adrian J., Protus J., Fraugne R. 1995** : La science alimentaire de A à Z. Paris : Technique et Documentation. Lavoisier. 656 p.
- Alais C. et Linden G. 1997** : Biochimie alimentaires. Paris : 4ème édition Massons. 242 pages.
- Anderson R.A., Conway H.F., Griffin E.L. 1969**: Gelatinization of corn grits by roll and extruding cooking. Cereal Sci.Today. n°14. pp 372-375.
- Anderson R.A., Conway H.F., Griffin E.L., (1969)-** Gelatinization of corn grits by roll and extruding cooking cereal sci. Today., n°14, Pp.372-375.
- Anonyme 2003** : les livres de la mouture de la mouture du blé spécialité agronomie.
- Anonyme 2013** : Algérie philatélie, 2013.
- Anonyme. 1988(a)**: Agricultur Handbook. « Cereal Grains and Pasta ». n° 8-20.pp 2071-2076.
- Anonyme. 1988(b)**: Medaillon laboratoire's analytical report for Montana Flour and Grains on Kamut Brand wheat.n°880 pp 67.
- Anonyme. 1991** : Afnor recueil des normes françaises céréales et produits à bases de céréales, couscous et spécification n°1.10p.
- Anonyme. 2001** : La rousse : Encyclopédie des plantes médicinales ; identification, préparation, soins ED. VUEF, Paris, P75.
- Anonyme. 2001**: Production industriel du couscous Agroligne, N° juillet-Aout 2001 p39.
- Anonyme. 2004** : procédés traditionnels et coûts de fabrications de couscous et de la galette de blé dur dans l'exploitation (Haut plateaux, Tiaret et Tissemsilt). n°4 pp23.

Références bibliographiques

- Anonyme. 2006(a)** : aptitude de quelques variétés de blé algériens à la pastification et à la fabrication du couscous artisanal. Mémoire de fin d'étude. Blida. 92p.
- Anonyme. 2006(b)** : encyclopédie professionnelle Microsoft Encarta, 2006.
- Anonyme. 2008(a)** : comité technique marocaine de normalisation des céréales et légumineuses. Couscous complet de blé dur spécification. 5p.
- Anonyme. 2008(b)** : nourrir la vie : encyclopédie de l'alimentation biologique et de l'équilibre nutritionnelle. Dr. Lylian LE GOFF, éditions. Roger-Jollois. 1997. 736 p.
- Anonyme.2006(c)** : céréale : viser la taille critique : hors série spécial Algérie : DJAZAGRO,Mars-2006-19 p.
- Apfelbaum A. Forrat C., Nillus P. 1997** : Diététique et Nutrition. Paris : en' édition Masson. 516p.
- Arkoun Y., (2004)** – Le couscous ou l'histoire millénaire d'un grain *magique* GREEN. Algerie (1), Pp.13-15.
- Badaoui D.1984** : Influence du séchage sur la qualité du couscous industriel. Thèse Ing. INA. El Harrach. 85p.
- Bailly P., (1985)** – Le blé dur, la semoulerie, industries des céréales, Pp.5-12-36.
- Barron C., Surget A., Rouau X.,(2007)-** Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. Journal of Cereal Science, Pp .45, 88-96.
- Belaïd M.R. et Blarbi A. Khendek D. 1994** : Rôle des monoglécérides dans l'expression de la qualité du couscous de blé dur complication amylose- monoglycérides. Mémoires Ing INA.EL Harrach. 92p.
- Bendjouddiouadda et Tigroudja. 1999** : Influence de la granulométrie des semoules sur la qualité du couscous Ing INA El Harrach. 86p.
- Bennerot H. et Calais A. 1992** : Amélioration des espèces végétales cultivées objectifs et critères de sélection. Montpellier, France : Edition INRA.768p.
- Boudreau A. et Menard G. 1992** : Le blé : éléments fondamentaux et transformation les Sainte-Foy, Canada : presse de l'université LAVAL. 437p.
- Boudreua A ., Menard G., (1992)** – Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. Sainte-Fay. Canada, Pp.439.
- Boudreua A., Matsuo R., Raing W., (1992)** – Les industries des pâtes alimentaires. *In*, **Boudreua A ., Menard G., (1992)** – Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. Sainte-Fay. Canada, Pp.439.

Références bibliographiques

- Bourad D. et Ferrat N. 2002** : Etude corporative de quelque variété de couscous de blé dur fabriqué en Algérie : Aspect socio-technologique : Mémoire d'ing. INA El Harrach. 73p
- Calvel R. 1984** : La boulangerie moderne. Paris : 1 (Plie édition Eyrolles. 459p.
Céréales. n°119. P 5-18.
Céréales. n°132. pp 15-22.
- Cheftel J.C. et Cheftel H. 1977** : Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Paris : Technique et Documentation, Lavoisier. 800 p.
- D'amico, 1996** : Techniques modernes de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielle et artisanales, ED Dunodédition, Paris.
- Darrigol J.L. 1978**: Les céréales pour votre santé : propriétés et usages diététiques et thérapeutiques des céréales complètes, du germe de blé et du son. St Jean de Broye, France : Edition Dangles. 145p
- Darrigol J.L., (1978)-** Les céréales pour votre santé : propriétés et usages diététiques et thérapeutiques des céréales complètes du germe de blé et du son édition Dangles, Pp. 145.
de blé dur. (*Triticum durum* Desj). Mémoire Ing Blida. 65p.
- Debbouz A. , IZick J W., Donnelly B.J. 1994**: Influence of raw material on couscous quality. Cereal foods world. Vol 139. n°4. pp 231-236.
- Debbouz A. Et Donnelly B.J. 1996**: Process effect on couscous quality. Cereal-chem. Vol 73 n°6. pp 668-671.
- Derouiche M., (2003)** – Enquête de consommation dans les algériens, fabrication traditionnelle et qualité. Thèse de Magister. DN ATAA. Université de Constantine, Pp.125.
- Dexter J.E. et Matsuo P.R., 1977**: Influence of protein content on some durum wheat quality parameters. Can. Journal of plant sci. n°57. pp 712-727.
- Djema I. Gueziane L. Ounane G. 2000**: Effect of semolina granulometry on viscoelastic properties of durum wheat couscous. Montpellier, 27 novembre
- Djema I. 1995** : Essai de valorisation du gluten de maïs dans les produits à base de céréales, thèse Ing INA El Harrach. 67p
- Djema I. 2000** : Influence de la granulométrie de la semoule sur la qualité technologique du couscous. Annales d'INA. Vol 109. El Harrach.
- Dubois M. 1995** : La mouture expérimentale du blé tendre. Paris : Industrie des Céréales. n°93. pp 4-15.
- Eastwood M. 1990** : Fibres alimentaires et lipoprotéine. Paris: cahiers de la nutrition et de la diététique. Vol 25. d1. pp 25-29.

Références bibliographiques

- Eastwood M.A. 1992:** The physiological effect of dietary fiber. annual review of nutrition. Vo112. p 19-35.
- Emile F. 2008 :** Connaissance des aliments : bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Paris Technique et Documentation. Lavoisier.397p.
- FAO., (1996) –** Codex alimentarius : céréales, légumes secs, légumineuses, produits dérivés et protéines végétales. FAO. VOL.7.2^{ème} édition, Rome, Pp.164.
- Feillet P .2000 :** Le grain de blé composition et utilisation INRA Paris; P104 ,160
- Feillet P. 2000 :** Le grain de blé : composition et utilisation. Paris: INRA édition : 308p.
- Feillet P., (2000)-** Le grain de blé composition et utilisation, INRA, Paris, Pp.53.54.
France: Ed. MAE-ERTI. 433p.
- Fredot E. 2006 :** Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Tec et Doc, Lavoisier: 25 (397 pages).
- Fredot E., (2006)-** Connaissance des aliments bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Ed lavoisier Tec et doc Paris , Pp.40.53.
- Gate Philippe :** Ecophysiologie de blé. Lavoisier1995.
- Godon B. 1991 :** Biotransformation des produits céréaliers. Paris : Technique et documentation. Lavoisier. 221p.
- Godon B. et Loisel V. 1997 :** Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Paris 2ème édition Technique et Documentation. Lavoisier. 810p.
- Godon B. et William C. 1998:** Les industries de lère transformation des céréales. Paris : technique et documentation. Lavoisier. 786p.
- Godon B., (1991) –** Biotransformation des produits céréaliers Paris. Technique et documentation. Lavoisier, Pp.221.
- Godon B., Willm C., (1998)-** Les industries de première transformation des céréales, édition lavoisier, Pp.58.61.63.
- Grosh W. 1986:** Redox systems in dough. London: royal society of chemistry. pp 602-604.
- Gueziane L., Collona P., Abecassis J. 1998:** Effet du traitement hydro thermique du couscous de blé dur sur les modifications physiques de l'amidon. Annales de l'INA. El Harrach. V19.n° I et 2.
- Gueziane L., Mord AbecassisJ. 1996:** Effet des procédés de fabrication sur l'expression de la qualité culinaire. Annales de l'INA. El Harrach. V19.
- Guezlane L ., (1993) –** Mise au point de méthode de caractérisation et étude de modification physico-chimique sur l'effet de traitements hydro-thermique en vue d'optimiser la qualité du couscous du blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat. INA. El Harrach. Alger, Pp.104.

Références bibliographiques

- Guezlane L. 1993** : Mise au point de méthodes de caractérisation et étude des modifications physico-chimique sous l'effet de traitement hydro thermique en vue d'optimiser la qualité du couscous du blé dur thèse de Doctorat- INA. El Harrach. 104p.
- Guezlane L. et Abecassis J. 1991** : Méthodes d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur. Ind. alim. Agric. Vol 11 n°108. pp 966-970.
- Guezlane L., Abecassis J. (1991)**- Méthodes d'appréciation de la qualité culinaire du couscous INA novembre 1991, Pp.966.970.
- Hamadache A. 2001** : Travail du sol. Manuel illustré des grandes cultures à l'usage des vulgarisateurs et techniciens de l'agriculture. 2001.
- Hamadache A.,(2001)** - Stades et variétés de blé édition TIGC , Pp.7.
- Hemery Y., Rouau X., Lullien-Pellerin V., Barron C., Abecassis J., 2007** : Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. Journal of Cereal Science 46, 327-347.
- Hemery Y., Rouau X., Lullien-Pellerin V., Barron C., Abecassis J.,(2007)**-Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. Journal of Cereal Science, Pp.46. 327.347.
- Houliaropoulos S., Abecassis J., Autran J.0 1981** : Produit de mouture du blé dur : coloration et caractéristique culinaire. Ind. Céréales ; Vo12. n°3. pp 13-18.
- Humphreys, D.G. et Gaudet, D.A. 2010** : « Blé dur ambré Napoleon. », Canadian Journal of Plant Science, 90(6), p. 863-867. doi : 10.4141/CJPS10024.
- INA. Alger. 138p.
- Jean PL., (1997)** – Microbiologie alimentaire technique de laboratoire. Edition Lavoisier, Pp.335.
- Jeantet R., Croguennec T., Schuck P., Brulé G. 2007** : La science des aliments Stabilisation biologique et physico-chimique. Paris: Technique et documentation. Lavoisier. 452p.
- Kent NL., Evers AD., (1994)**- Technology of Cereals. Oxford: Pergamon Press Ltd.
- Khaly sall., (1998)**- controle de qualité des farines céréalières mises sur le marché au Senegal. Thèse de doctorat, Pp.14.17.
- Kherrif 1996** : Effet de la variation protéique sur l'expression de la qualité technologique du couscous de blé dur Thèse Ing- INA. 84p.
- Kiger, J.L et Kigger, J, C, 1967** : Techniques modernes de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielle et artisanales et des produits de régime/ tome Z édition Dunod,

Références bibliographiques

- Kovacs M.I.P., Post.M., Butter G., Woods S.M., Leisle D., Noli J.S et Dahlke G. 1997 :** Durum wheat quality comparaison of chemical and rheological sureening test whith semory analysis. Canadian journal of cereal science. Vol 25. n°1. pp 65-75.
- Lampreur I., Chaurand M., Abecassis J., et Atran J.C. 1997 :** Valeur semoulière des blés durs (Triticum durum des]) ; influence de la taille des grains. Industrie des céréales. Vo1104. pp13-20.
- Larpent J.P. 1997 Microbiologie alimentaire :** technique du laboratoire. Paris : Technique et Documentation. Lavoisier. 1073 p.
- Lauro M., Ring S., Bull V.J., Poutaneu K. 1997:** Gelatinisation of waxy barby starch hydrohsates. Canadian Journal of Cereal Sci. Vo126.n°3. pp 347-560.
- Linden G. et Lorient D. 1994 :** Biochimie agro-industrielle : valorisation alimentaire de la production agricole. Paris : édition Masson. 367p.
- Linden G., Lorient D., (1994)-** Biochimie agro-industrielle valorisation alimentaire de la production agricole, Paris édition Masson, Pp 367.
- Liu C.Y., Shepherdk W., Rathjern A.J. 1996:** improvement of durum wheat pastmaking and breadmaking qualifies. cereal chem. Vo173. n°2. pp155-166.
- Magister, Magister, INIA, Buumerdés 120p. **Abcassis J., (1991) –** Qualité de blé dur, la semoule et des pates alimentaires. Paris : industrie des céréales. VOL 107. n°72. Pp.7-11.
- Marielle O. 2000:** Effet de la fertilisation azotée sur la qualité technologique de deux variétés
- Matveef M. 1966 :** Le métadinage des blés durs son évaluation et son influence sur le rendement et la valeur semoulières. Bulle de l'EFM. n°198. pp 299-306.
- Mélas V., Morel M.H., Autran J.-C. and Feillet P. 1994:** Simple and rapid method for
- Moll M., Moll N., (2008)-** Précis des risques alimentaires. Ed lavoisier Tec et doc., Paris, Pp.104.345.
- Neron S. 2000 :** Les lipides de l'amidon : quand une minorité s'en mêle. Industrie des
- Ounane G . et Yesli A.1999 :** Maîtrise des aspects technologiques et génétiques pour le développement des aliments céréaliers traditionnels : cas du couscous. Alger : Journée nationale de nutrition (foreur).
- Ounane G. 1983 :** Fabrication des pâtes alimentaires supplémentées avec de la farine de pois chiche : étude biochimique, technologiques et de la valeur nutritionnelle. Thèse Magister. Paris ; p99, 595.
- Peyron S., Autran J.C., Rouau X., et Abecassis J. 2003 :** La séparabilité amande enveloppes : une nouvelle composante de la valeur semoulière des blés durs. Industries des

Références bibliographiques

purifying low-molecular-weight subunits of glutenin from wheat. Cereal Chem. Vol 71. n°3. pp 234-237.

Rossel P. et Hubert C. 2002 : Les pains français évolution, qualité, production. Vesoul, rye and triticale protein. Cereal Chem. n°47. pp 746-757.

Simoes laraz ferreira M., (2001) – Dynamique d'assemblage de protéines de réserve et du remplissage du grain de blé dur, Pp.11-12-13.

Surget A., Barron C., (2005)-Histologie du grain de blé. Industrie des céréales, Pp. 3.7.

Villegas E., MC Donald C E., Gilles K.A.1970: Variability in the lysine content of wheat, wheat flower to granulation. Cereal Chem. n° 24. p381

Wichser P.G, Shellenberger J.A., Pencer O. 1947: Relation ship of physical proprieties of

Yettou N. 1998: Les méthodes instrumentales d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur, Thèse de Magister INA El Harrach. 90p

Yettou N., Gueziane L., Ounane G. 2000 : Mise au point d'une méthode instrumentale d'évaluation de la délitescence du couscous de blé dur. Symposium blé dur 2000.enjeux et stratégies, Alger 7-9 février.

Yousfi L.,(2002) – Influence des conditions de fabrication sur la qualité du couscous industriel et artisanal. Thèse de Magister. DN ATAA. Université de constantine, Pp.141.

Zairi M. 1998 : Etude de la variabilité physico-chimique et électrochimique de quelques variétés de blés durs cultivés L1 Algérie : relation avec la Thèse de

TABLES DES MATIERES

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
Abstract	
الملخص	
Introduction	
Partie bibliographique	
Chapitre I : Le blé dur	
I- Le grain de blé.....	05
I-1-Origine et historique de grain de blé.....	05
I-2-Les variétés étudiées.....	06
-Blé dur Hedba 03.....	06
-Blé dur ambré Napoleon	06
I-3-Généralité	06
I-4-Définition et aspect morphologique	07
-Le péricarpe.....	07
-L'assise protéique.....	07
-Le germe.....	09
- L'amande	09
I-5 Composition biochimique du blé.....	09
-L'eau.....	09
- Les glucides.....	09
-Les protéines.....	10
-les lipides.....	12
-Les oligoéléments.....	12
-Les matières minérales ou cendres	12
-Les vitamines.....	14
- Fibres alimentaires.....	13
-Les enzymes.....	15
I-6-L'Appréciation du blé dur.....	16
-La valeur semoulière.....	16
-La valeur couscoussière.....	16
Chapitre II : La semoule	
II-1- Définition.....	18
II-2-La technologie semoulière.....	18
-Objectifs.....	18
A-Procédés de transformation.....	18

A-1-Le pré-nettoyage	18
A-2-Le nettoyage	19
A-3- Préparation du blé à la mouture (le mouillage)	20
A-4- Mouture	20
II-3- La qualité de la semoule.....	22
II-3- A L'odeur	22
II- 3- B La granulation.....	22
II-3- C La coloration	22
II-3- D L'élasticité	22
Chapitre III : le couscous	
III- Le couscous.....	25
III-1- Définition	25
III-2- Procédés de fabrication du couscous.....	25
1- Hydratation et malaxage.....	25
2- Roulage	25
3- Cuisson.....	25
4- Séchage.....	25
5- Calibrage.....	26
6- Stockage et conditionnement	27
III-3- Les caractéristiques culinaires du couscous.....	27
Partie expérimentale	
I-Matériels et méthodes	
I-Matériels végétal.....	31
A- Echantillonnage	32
B- Appareillage.....	32
II- Analyses physicochimiques:.....	35
II-1- Analyses effectuées sur le grain de blé dur	35
II-1-1 Recherche des impuretés (Agréage)	35
-Principe.....	35
-Appareillage	35
-Mode opératoire	35
II-1-2 poids spécifique (la masse à hectolitre)	35
-Principe	36
II-1-3 Poids de mille grains (PMG)	36
II-1-4 calibrage	36
II-1- 5 teneur en eau	36
- Principe	36
- Mode opératoire	36
II-1- 6 taux de cendre	37
- Principe	37
- Mode opératoire	37
II-1-7 Teneur en protéine totale	38
- Principe	38

II-2- Les analyses effectuées sur la semoule	38
II-2-1 granulométrie (taux d'affleurement)	38
II-2-2 teneur en eau	39
II-2-3 taux de cendre	39
II-2-4 teneur en gluten	39
II-2-5 La teneur en protéines totales	40
II-2-6 La mesure de l'acidité grasse	40
II-3- Les analyses effectuées sur le couscous.....	41
II-3-1 La granulométrie	41
II-3-2 La teneur en eau	42
II-3-3 La mesure de l'acidité grasse	42
II-3- 4 Le gonflement à froid et à chaud	42
II-3-5 La prise en masse du couscous cuit (IPMT).....	43
II-3-6 La délitescence	44
II-3-7 Le comportement de l'amidon	44
II-3-8 Test de cuisson	45
III- Les analyses microbiologiques	45
-Préparation des suspensions mères	46
-Préparation des dilutions (décimales).....	46
III-1- Recherche et dénombrement des moisissures	46
-Principe.....	47
- Mode opératoire.....	47
-Lecture.....	47
III-2- Recherche des spores de Clostridium Sulfito-Réducteur	49
-Principe	49
- Mode opératoire.....	49
-Ensemencement.....	49
-Lecture	51
IV- Etude statistique	51
Résultats et discussion	
I-Résultats et discussion des analyses effectuées sur les grains de blé	53
I-1- Le taux d'impuretés dans le blé dur local et importé.....	53
I-2- La masse à hectolitre (poids spécifique).....	54
I-3- Le poids de 1000 grains (PMG).....	55
I-4- Calibrage des grains	56
I-5- La teneur en eau.....	56
I-6- Taux de cendre.....	56
I-7- Teneur en protéines totales.....	58
II-Résultats et discussion des analyses effectuées sur la semoule de blé dur local et importé	59
II-1- La granulométrie des semoules.....	59
II-2- Teneur en eau.....	60
II-3- Dosage du taux de cendres.....	61

II-4-Dosage de la teneur en gluten.....	63
II-4-1-Teneur en gluten sec.....	63
II-4-2- Teneur en gluten humide	64
II-4-3-Le gluten index.....	65
I-4-4- Coefficient d'hydratation.....	65
II-5-La teneur en protéine.....	66
II-6- L'acidité grasse.....	67
III-Résultats et discussion des analyses effectuées sur le couscous	68
III-1- La granulométrie (taux d'affleurement)	68
III-2- La teneur en eau.....	69
III-3-Le taux de cendre.....	70
III-4- Mesure de l'acidité grasse	71
III-5- Le gonflement à froid et à chaud.....	72
III-6- La prise en masse du couscous cuit (IPMT).....	74
III-6- La délitescence.....	75
III-7 Le comportement de l'amidon.....	77
III-8- Test de cuisson.....	78
IV- Résultats des analyses microbiologiques	79

Annexes 01 : composition des milieux de culture utilisés.

L'eau physiologique :

- ❖ Chlorure de sodium.
- ❖ Eau distillée.
- ❖ pH= 7,5

OGA :

- ❖ extrait de levure 5g.
- ❖ glucose 20g.
- ❖ Agar 16g.
- ❖ Eau distillée 1000ml.
- ❖ pH=6,8-7.

VF :

- ❖ Peptone viande-foie 30 g
- ❖ Glucose : 2g
- ❖ Amidon soluble : 2g.
- ❖ Sulfite de sodium : 2,5g
- ❖ Citrate ferrique ammoniacal : 0,5g
- ❖ Agar agar : 11g
- ❖ pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C : $7,6 \pm 0,2$.

Annexes 02**+ Contrôle de la granulométrie des semoules :**

	Le taux d'affleurement					
	T500μm	T45μm	T35μm	T250μm	T150μm	T<150μm
Semoule locale	10	21	48	13	5	3
Semoule importée	9	23	47	11	6	4

+ Contrôle de la granulométrie des couscous:

	Granulométrie (%)						
	1800μm	1400μm	1250μm	1000μm	800μm	630μm	500μm
Couscous local	0	10	54	22	9	4	1
Couscous importé	0	13	51	23	10	3	1

+ Contrôle du gonflement à froid des couscous:

	Le gonflement à froid (%MS)						
	5mn	10mn	20mn	30mn	40mn	50mn	60mn
Couscous local	104	113	138	154	159	169	179
Couscous importé	130	136	176	186	196	206	216

✚ Contrôle du gonflement à chaud des couscous:

	Le gonflement à chaud (%MS)						
	5mn	10mn	20mn	30mn	40mn	50mn	60mn
couscous local	128	159	172	187	192	192	192
couscous importé	148	161	191	214	221	221	221

✚ Contrôle de la délitescence des couscous:

	La délitescence (%)					
	À l'état cru			À l'état cuit		
	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne
Couscous local	1,75	1,75	1,75	1,82	2,28	2,05
couscous importé	1,69	1,40	1,55	1,77	2,23	2

Annexes 03**Tableau V : Composition biochimique et valeur nutritive du blé dur, semoule et COUSCOUS**

Caractéristiques chimiques	Blé dur	SEMOULE	COUSCOUS
Glucide%	60-96	74-75	22-32
Protéine%	7-18	10-12	3,5-5
Lipides%	1,5-2	1-2	0,6-2
H₂O	13	11-12	40
Fibres	2-2,5	-	-
Calories	264-342	375	120-150
Vitamines (mg/100g)			
Thiamine B₁	0,76	0,32	0,05
Riboflavine B₂	0,11	0,10	0,03
Niacine B₃ ou PP	11,10	3,89	0,90
Pyridoxine B₆	0,43	0,12	0,06
Tocophérol E	5,80	2,49	0,00
Minéraux (mg/100g)			
Calcium	43	19	7,20
Magnésium	186	69	7
Phosphore	370	185	20
Potassium	494	198	52
Fer	4	1,4	2

(Mais et Linden, 1997)

Annexes

INTRODUCTION

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

Blé dur

Chapitre II

Semoule

Chapitre III

Couscous

Etude expérimentale

Matériel et méthodes

Résultats et discussion

Conclusion

Références bibliographiques

Table des matières