

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA
FACULTE DES SCIENCES AGRO- VETERINAIRES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de Master (LMD)
en Sciences de la Nature et de Vie
Spécialité : Technologie des céréales

THEME

Bilan qualitatif de quelques, Blés Durs et dérivés

Présenté par REZKI Salima

Soutenu devant le jury :

Grade

Président:	M ^{me} ACHEHEB H	M C B (USDB)
Promotrice :	M ^{me} FOURAR R	M C B (USDB)
Examineurs:	M ^r BOUSBIA N	M C B (USDB)
	M ^{me} FERNANE S	M A B (USDB)

Année universitaire : 2012- 2013

REMERCIEMENTS

Merci à dieu, le tout puissant pour son aide à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Un grand remerciement à ma mère et mes frères et mes sœurs pour leur soutien et leurs encouragements.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude envers mon promoteur, madame FOURAR R, enseignante au département d'agronomie de l'université de Blida. Sa grande disponibilité, ses nombreux conseils, son soutien indéfectible, auront joué un rôle déterminant dans l'aboutissement de ce travail.

Je suis très reconnaissante envers monsieur le président du jury, madame ECHEHEB H qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

Les membres de jury qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. Ainsi qu' monsieur BOUSBIA N et madame FARNANE S qui ont bien voulu juger ce mémoire et faire partie du jury.

Je remercie également le personnel de l'unité pâtes industrielles SOPI, en particulier mes remerciement vont à monsieur LAMARI K., le directeur général de complexe, qui m'a bien accueillie au sein de son entreprise, en mettant à ma disposition tous les moyens nécessaires à la réalisation de mon expérimentation ainsi à madame Hind, chef de service du laboratoire Technologie, ainsi qu'à mesdemoiselles Amina et Manel et madame Imen pour leur disponibilité et leurs encouragements durant toute l'expérimentation.

Mes remerciements les plus profonds et toute ma reconnaissance s'adressent à monsieur HADJ SADOUK, qui m'a encouragée tout au long de ce travail. Qu'il trouve ici, l'expression de mon profond respect.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué à la réalisation de cette étude trouvent ici le témoignage de ma reconnaissance.

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

La mémoire de mon père Mohamed et mon cher frère Ali.

Ma mère Dhaouia.

*Mes frères Abdellah, Younes, Aissameddine et leurs épouses Samia et Nawel et
leurs enfants Asma, Sara et Ali*

Mes sœurs Fatiha, F-Zohra, Houria, Souad et leurs enfants.

Toute la famille REZKI.

Ma chère amie Rokia.

*Mes camarades, en particulier ceux appartenant à la spécialité technologie des
céréales*

Toutes mes amies.

RESUME

Cinq lots de blé dur (2 importés, 3 locaux) et dérivés produits au complexe SOPI, Blida, ont été prélevés et analysés sur une période de quatre mois. De nombreux paramètres qualitatifs ont été évalués en relation avec :

- La qualité physico-chimique des blés réceptionnés qui est ressortie significativement distincte et acceptable pour les différents lots au niveau de la teneur en eau, du « PS », du mitadinage et de la coloration. Certaines impuretés telles que les grains cassés, mouchetés et les graines nuisibles ont été trouvées en forte proportion ou dépassant les seuils réglementaires. Statistiquement, les blés durs importés ont présenté le taux de mitadinage le plus bas.

- Le contrôle de fabrication

La teneur en eau des grains avant B1 a montré que le conditionnement des grains a été effectué correctement alors que celle des semoules est significativement distincte, instable et, pour certains lots, inférieure à la norme d'entreprise. La teneur en eau des pâtes alimentaires a été, d'une façon générale, correcte.

Le taux de cendres des grains, des semoules et des pâtes alimentaires des différents lots est ressorti faible, dénotant la pureté des dérivés fabriqués.

La granulométrie des semoules a été montrée acceptable

L'essai de cuisson des pâtes a montré que les 5 lots de blé ont permis la fabrication de semoules et de pâtes alimentaires acceptables.

- La qualité nutritionnelle et technologique. La teneur en protéines et en gluten des blés importés s'est révélée plus importante que celle des blés locaux alors que le blé dur 1, local, est ressorti possédant les meilleures caractéristiques mixographiques.

- La qualité microbiologique qui a démontré, pour l'ensemble des blés et dérivés, une absence de spores de *Clostridium sulfito-réducteur* et de moisissures : la transformation des blés à SOPI semble se faire dans des conditions sanitaires satisfaisantes.

Mots clés : *Blé dur, semoule, pâtes alimentaires, contrôle qualitatif, contrôle de fabrication.*

SUMMARY

Five batches of wheat durum (2 imported, 3 buildings) and derived produced with the complex SOPI, Blida, were taken and analyzed over one four months period. Many qualitative parameters were evaluated in relation to:

- The physicochemical quality of the delivered corns which is arisen significantly distinct and acceptable for the various batches on the level of the water content, of the “PS”, the mitadinage and of coloring. Certain impurities such as the broken, mouchetés grains and harmful seeds were found in strong proportion or exceeding the lawful thresholds. Statistically, the imported durum wheats had the rate of mitadinage low.

- Processing control

The water content of the grains before B1 showed that the conditioning of the grains was carried out correctly whereas that of the semolinas is significantly distinct, unstable and, for certain batches, lower than in-house standard. The water content of the pasta products was, generally, correct.

The ash content of the grains, the semolinas and the pasta products of the various batches is arisen weak, indicating the purity of the derivatives manufactured.

The granulometry of the semolinas was shown acceptable

The test of cooking of the pastes showed that the 5 batches of corn allowed the manufacture of semolinas and acceptable pasta products.

- Nutritional and technological quality. The content of proteins and gluten of imported corns appeared more important than that of local corns whereas the durum wheat 1, room, are brought out having the best mixographic characteristics.

- The microbiological quality which showed, for the whole of derived corns and, an absence of spores of Clostridium sulfito-reducer and moulds: the transformation of corns with SOPI seems to be done under satisfactory sanitary arrangements.

Key words: Durum wheat, semolina, pasta products, qualitative control, processing control.

المخلص

خمس دفعات من القمح الصلب 2 مستوردة و 3 محلية المنتجة من طرف مركب. SOPI تم تقييم العديد من المعلمات النوعية فيما يتعلق ب :

الجودة الفيزيائية و الكيميائية للقمح المعتمدة التي ظهرت واضحة بشكل كبير و مقبولة لمختلف الدفعات في محتوى المائي، الميتاديناج و نسبة التلوين. تم العثور على البعض من الشوائب مثل الحبات المكسورة و البذور الضارة بنسبة عالية و تتجاوز الحدود التنظيمية إحصائيا ، اظهر القمح الصلب المستورد أدنى معدل من الميتاديناج (Mitadinage).

المراقبة الصناعية

أظهرت محتوى الماء من الحبوب قبل B1 أن نفع الحبوب قد تم القيام به بشكل صحيح، أما فيما يخص الدقيق يختلف بشكل ملحوظ و غير مستقر.

لقد ظهرت نسبة الرماد في الحبوب، الدقيق و العجائن الغذائية لمختلف الدفعات منخفضة مما يدل على نقاء المشتقات منها حجم حبيبات الدقيق ظهرت مقبولة .

اظهر اختبار الطبخ العجائن الغذائية في خمس دفعات انها مقبولة .

الجودة الغذائية و التكنولوجيا :

كان محتوى البروتين و الجلوتين للقمح المستورد اعلي نسبة من القمح المحلي في حين القمح الصلب 1 المحلي اظهر أفضل خصائص الميكسوغراف (Mixographe)

الكلمات الأساسية :

القمح الصلب ,دقيق ,المعكرونة ,مراقبة الجودة ,مراقبة الإنتاج .

SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des annexes	
Listes des figures	
INTRODUCTION GENERALE.....	01
1^{ere} PARTIE : BIBLIOGRAPHIQUE	
I. Généralités sur la culture du blé dur	04
1.1. Classification botanique	04
1.2. Morphologie du grain de blé dur.....	04
1.3. Structure du grain de blé	04
1.5. Composition chimique et biochimique du grain de blé.....	05
II-Technologie des transformations des blés durs en semoules	07
2-1-Principe de la mouture de blé dur	07
2.2. Préparation du blé à la mouture.....	11
2.3. Différentes phases de la mouture.....	12
2.4. Conservation et stockage des semoules.....	14
III. La semoule	
3.1. Définition des semoules.....	16
3.2. Classification des semoules	16
3.3. Composition chimique et biochimique de la semoule.....	17
3.4. Caractéristiques technologiques de la semoule.....	19
IV. Les Pâtes alimentaires	
4.1. Définition	27
4.2. Classification	27
4.3. Composition biochimique des pâtes alimentaires.....	27
4.4. Matières premières employées dans la fabrication des pâtes alimentaires.....	28
4.5. Technologies de fabrication des pâtes alimentaires.....	29
4.6. Propriétés organoleptiques, nutritionnelles et hygiéniques des pâtes alimentaires.....	34

SOMMAIRE

4.7. Les défauts de séchage.....	37
----------------------------------	----

2eme partie : MATERIELS ET METHODES

I Présentation du lieu d'expérimentation, le complexe SOPI.....	38
1.1Présentation générale	38
1.2. Présentation succincte de la semoulerie.....	38
1.3. Présentation succincte de l'unité pâtes alimentaires.....	40
II. Bilan qualitatif des blés réceptionnés par le complexe et des dérivés fabriqués.....	41
I. Objectif.....	41
II. Matériel végétal.....	41
III. Echantillonnage et lieu de prélèvement.....	41
3.1. Echantillonnage.....	41
3.2. Lieu de prélèvement.....	42
IV. Analyses effectuées.....	42
4.1. Sur les grains	
4.1.1. Masse à hectolitre.....	42
4.1.2. Détermination des impuretés.....	43
4.1.3. Poids de milles grains.....	44
4.1.4. Taux de mitadinage	45
4.1.5. Détermination de la teneur en eau	46
4.1.6. Le taux de cendres	47
4.1.7. Dosage des protéines.....	50
4.2. Sur les semoules	50
4.2.1. La granulométrie (taux d'affleurement).....	50
4.2.2. Détermination des indices de coloration des semoules	51
4.2.3. La teneur en gluten.....	52
4.2.4. Essai au mixographe.....	54
4.3.Sur les pâtes alimentaires	55
4.3.1. Analyses physico-chimique des pâtes alimentaires	55
4.3.2. Essai de cuisson des pâtes alimentaires	56
4.4. Les analyse microbiologiques.....	56
4.5. Analyses statistiques des résultats.....	61

SOMMAIRE

3^{ème} Partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Paramètres physico-chimiques des lots de blé dur	63
1.1. Teneur en eau des grains.....	63
1.2. La masse à l'hectolitre ou « PS ».....	64
1.3. La masse de 1000 grains ou PMG	65
1.4. Taux de mitadinage	66
1.5. Taux et la nature d'impuretés.....	67
1.6. Coloration des semoules	69
II Paramètres relatifs au contrôle de mouture	71
2.1. Teneur en eau.....	71
2.2. Teneur en cendres.....	72
2.3. Granulométrie des semoules.....	73
III Paramètres relatifs à la qualité nutritionnelle et technologique des blés durs et dérivés.....	74
3.1. Teneur en protéines.....	75
3.2. Teneur en gluten humide et sec.....	76
3.3. Essai au mixographe.....	78
3.4. Evaluation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires.....	79
IV Qualité microbiologique des semoules et pâtes alimentaires issues.....	83
CONCLUSION GENERALE.....	84
Références bibliographiques	
Annexes	

LISTE DES ABREVIATIONS

- **ISO:** International Organisation for Standardization
- **AFNOR:** Association Française de Normalisation
- **B1 :** Broyeur 1
- **C.I.E :** Commission internationale de l'éclairage
- **CEE :** Communauté Economique Européenne
- **G:** Gonflement
- **GH:** Gluten Humide
- **GI:** Gluten Index
- **GS:** Gluten Sec
- **H:** Humidité
- **LB:** Indice de Brun
- **IJ:** Indice de Jaune
- **ISO:** International Organisation for Standardization
- **ITGC:** Institut Technologique des Grandes Cultures
- **JORA:** Journal Officiel de la République Algérienne
- **PC :** Perte à la Cuisson
- **PHL :** poids à hectolitre
- **PMG :** Poids de Mille Grains
- **PMG:** Poids de Mille Grains
- **SF :** Semoule fine courante
- **SG :** Semoule Grosse supérieure
- **SM :** Semoule Moyenne supérieure
- **SSSE :** Semoule Sasser Super Extra
- **T C :** Teneur en cendres
- **T.E :** Taux d'Extraction

Listes des tableaux

Tableau 1 Classification botanique du blé dur.....	04
Tableau 2 Composition chimique du grain de blé (%ms).....	07
Tableau 3 la nature, les noms, les méthodes et appareils utilisés pour séparer les impuretés.....	10
Tableau 4 composition chimique et biochimique de la semoule.....	17
Tableau 5 composition chimique des pâtes alimentaires.....	28
Tableau 6 Récapitulatif des différentes phases de séchage.....	33
Tableau 07 Paramètres physico-chimiques des lots de blé dur.....	63
Tableau 08 Masse à l'hectolitre, PMG des blés et taux d'extraction des semoules issues.....	64
Tableau 09 Impuretés rencontrées dans les échantillons de blé dur étudiée.....	68
Tableau 10 Indice de coloration des blés étudiés	69
Tableau 11 Paramètres physico-chimiques de blé avant B1 et dérivés.....	72
Tableau 12 Contrôle de granulométrie des semoules de blés.....	74
Tableau 13 Paramètres relatifs à la qualité nutritionnelle et technologique des blés dures et dérivés.....	77
Tableau 14 l'échelle de classement du gluten sec (%).....	78
Tableau 15 Les paramètres des mixogrammes des échantillons étudié.....	79
Tableau 16 Appréciation de la qualité culinaire de pâtes fabriquées à partir du blé dur	80
Tableau 17 microbiologiques semoules et pâtes alimentaires.....	83

Listes des tableaux

Liste des annexes

Annexe 01 Matériel utilisé

Annexe 02 Verreries utilisée pour la préparation des milieux de cultures

Annexe 03 Composition des milieux de cultures utilisées

Annexe 04 Résultat des analyses physico- chimique de blé dur

Annexe 05 Résultat des analyses chimiques et technologiques de semoule pâte alimentaires (3SE)

Annexe 06 Résultat d'analyse des pâtes alimentaires

Annexe 07 Table de correspondance de quantité d'eau à ajouter en fonction du taux de protéines pour le mixogramme .Université américaine du Nord DACOSTA Station expérimentale d'agriculture

Annexe 08 Les mixogrammes des échantillons étudiées

Annexe 09 Etudes statistiques

Liste des figures

Figure 1 Coupe longitudinale et transversale d'un grain de blé dur.....	06
Figure 2 Principe de la mouture de blé dur.....	13
Figure 3 Principe de fonctionnement d'un broyeur à cylindre.....	13
Figure 4 Cycle de production de la semoulerie « SOPI »... ..	15
Figure 5 Schéma de fabrication du blé dur aux pâtes alimentaires.....	35
Figure 6 Coupe transversale des grains par le Farinotome de Pohl	47
Figure 7 Quelques Les étapes de détermination le taux de cendres.....	50
Figure 8 Quelques étapes de l'extraction du gluten.....	54
Figure 9 Gluten sec après séchage au glutork (original).....	55
Figure 10 Recherche et dénombrement des moisissures.....	60
Figure 11 Recherche des sports <i>clostridium sulfito-redictures</i>	63
Figure 12 Poids spécifique, taux d'extraction et la masse de 1000 grains des échantillons étudié.....	66
Figure 13 Taux de mitadinage des échantillons étudiés	68
Figure 14 Indice de coloration des échantillons étudié.....	72
Figure 15 Teneur en eau des échantillons étudiés.....	74
Figure 16 Teneur en cendres des échantillons étudiés.....	75
Figure 17 Contrôle de granulométrie des semoules des blés durs (SSSE).....	76
Figure 18 Relation entre la teneur en protéines et le mitadinage.....	79
Figure 19 Gluten sec et gluten humide des échantillons étudié.....	80
Figure 20 Taux de protéines et temps de cuisson des échantillons des pâtes alimentaires étudié.....	83
Figure 21 Perte a la cuisson des échantillons des pates alimentaire étudié.....	84
Figure 27 Gonflement des échantillons étudié des pâtes alimentaires.....	85

INTRODUCTION GENERALE

Les grains de céréales et leurs dérivés représentent l'apport principal en calories de l'alimentation humaine (Cheftel, 1977). Ils constituent la source de protéines la plus importante dans le monde. En effet, ils fournissent 57% des protéines consommées contre 23% pour les tubercules et les légumineuses et 20% pour les produits animaux (Godon, 1996).

Les céréalicultures, par son importance stratégique, constitue la base de la sécurité alimentaires. En effet, les produits céréaliers représentent l'essentiel de la ration alimentaire de l'algérien moyen : ils contribuent à près de 60% pour les calories, 69% des protéines totales et 88% des protéines végétales. Depuis l'indépendance, la céréaliculture nationale est pratiquée sur l'ensemble de l'espace agricole sans prendre en considération les vocations naturelles des terroirs. Couvrant annuellement plus de 3782000 ha, elle utilise 45% de surface agricole utile (SAU) aux quels il faut ajouter environ 3 millions d'ha de jachères.

Dans le monde, avec une production moyenne annuelle de 36 millions de tonnes, le blé dur est une céréale principale. Cette production est surtout localisée dans le bassin méditerranéen d'une part (Europe du Sud, Moyen orient, Afrique du Nord), et en Amérique du Nord d'autre part (Canada central et Nord des USA) où est produit le quart du blé dur mondial (blé dur de printemps dans cette région continentale froide). Enfin, on trouve un peu de blé dur en Europe centrale (ex U.R.S.S) ainsi qu'en Argentine (Ferret, 1996). La production globale de céréales au début des années 1990 montre bien la nature des changements intervenus. La Chine vient au premier rang avec 14,6 % de la production mondiale devant l'Inde (11,7%), les Etats-Unis (9,4 %), la Russie (7 %), la France (5 %) et le Canada (4 %). Ces dernières années, la production mondiale de blé dur varie entre 22,3 millions de tonnes (en 1983-1984 et 1988-1989) et 34,4 millions de tonnes (1991-1992) soit une moyenne de 27 millions de tonnes. Elle présente donc d'importantes fluctuations proches de 25 % (Ferret, 1996; Selmi, 2000). Cette situation, favorable aujourd'hui aux gros producteurs exportateurs du monde occidental, même si les Etats-Unis et l'Europe sont fortement concurrents, pourrait changer si l'Asie parvenait à un certain niveau d'autosuffisance et si la production des Républiques de l'ex-URSS se redressait. Au cours des années 1980, celle-ci importait annuellement à peu près l'équivalent de ce qui était perdu chaque année par insuffisance d'équipements, même lorsque les récoltes étaient bonnes. Pour la campagne 2005-2006, l'Algérie a importé plus de 2,55 millions de tonnes de blé (statistiques avancées par les responsables de l'association France Export Céréales) (Derbal, 2009). En effet, l'Algérie est l'un des plus grands pays

INTRODUCTION GENERALE

consommateurs de céréales au monde. On évalue la consommation moyenne à hauteur de 220 kg par an et par habitant, et celle-ci peut atteindre jusqu'à 50 % du budget total consacré à l'alimentation (Aissaoui, 2009).

Selon (Chehat 1994), la céréaliculture algérienne occupe en moyenne, près de trois millions d'hectares sur une superficie totale de 6,8 millions d'ha soit 44%. Les données statistiques du ministère de l'agriculture et du développement rural, indiquent que la sole réservée aux céréales au cours de la période (2001-2006) est de 3 178 248 hectares dont 30 % pour les orges et 43% de la superficie céréalière nationale pour le blé dur, soit en moyenne 1.350.000 hectares. La production annuelle atteint en moyenne 6 millions de quintaux et oscille entre 3 et 7 millions. Le blé tendre les superficies, de ce fait, sont plus faibles, et oscillent autour de 300.000 hectares. Mais aussi les rendements sont plus élevés, et la production est supérieure à 2 millions de quintaux, avec des minima dépassant à peine 1 million et des maxima approchant 3 millions.

Parmi les céréales, le blé dur est l'espèce qui est la plus largement consommée. Il est cultivé dans toutes les régions semi arides du monde et en Algérie, régions de culture et superficies qui lui sont consacrés. Grâce à ses caractéristiques nutritionnelles et technologiques, le blé dur se prête à la fabrication d'une gamme très variée de produits alimentaires dont les pâtes, qui constituent la base pour une grande partie du monde, le couscous en Afrique du nord, el bourghoul au moyen orient et le frik en Afrique du nord. En Europe et au moyen orient, il est surtout utilisé dans la production de semoule et s'adapte aussi à la fabrication de céréales en flocons servies au petit déjeuner et comme dessert (Zaghouane *et al* 2003).

Les pâtes alimentaires sont fabriquées avec de la semoule provenant de blé dur pur; il est donc nécessaire que la qualité de ce dernier satisfasse au mieux les besoins des industries semoulières et pastières. On regroupe sous le terme qualité ou valeur technologique, l'ensemble des caractéristiques du blé dur dont dépendent d'une part le rendement en semoule et son degré de pureté et d'autre part, l'aptitude de la semoule à être transformée en pâtes alimentaires dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs.

Le but de la production céréalière nationale est l'autosuffisance mais le facteur qualité des produits fabriqués ne doit pas être négligé ou ignoré par les producteurs.

En effet, le consommateur a le droit d'exiger un aliment sain, de bonne présentation à l'achat et de saveur agréable après cuisson. Il est nécessaire de lui présenter sur le marché un produit

INTRODUCTION GENERALE

dont les qualités nutritionnelles, organoleptique et hygiéniques soient satisfaisantes. Est-ce que cette exigence est respectée en Algérie ? Pour répondre à cette question, nous avons orienté l'objet de notre étude vers l'évaluation de certains paramètres de qualité des semoules et pâtes alimentaires issues fabriquées par une unité de production nationale, le complexe SOPI de Blida.

I. Généralités sur la culture du blé dur

1.1 Classification botanique

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

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

Tableau 1 Classification botanique du blé dur ((Feillet, 2000)

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

1.2. Morphologie du grain de blé dur

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

1.3. Structure du grain de blé

- Le grain de blé est constitué principalement de trois parties : l'albumen, les enveloppes et le germe (Fig.1).
- **L'albumen** : C'est la partie centrale de la graine représentant 80 à 85% du grain. Elle est constituée par une succession de couches :

1^{ère} Partie : BIBLIOGRAPHIE

- L'assise protéique (couche à aleurone) : Elle est très riche en protéines.
 - Les cellules de l'albumen : l'albumen peut être vitreux et dur (cas des blés durs) ce qui nous donne la semoule comme il peut être farineux, cas des blés tendres et de blés durs autre mitadiné favorables à l'obtention de farines.
- **Les enveloppes**

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

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

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

- **Le germe**

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

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

1.4. Composition chimique et biochimique du grain de blé

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

Les grains de céréales sont particulièrement déshydratés (Godon, 2000), ce qui est un avantage pour leur conservation. Ils sont principalement constitués, d'amidon (70%), de protéines (10 à 15%) (selon les variétés et les conditions de la culture) et de pentosane (8 à 10%) ; les autres constituants, pondéralement mineurs, sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Feillet, 2000).

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

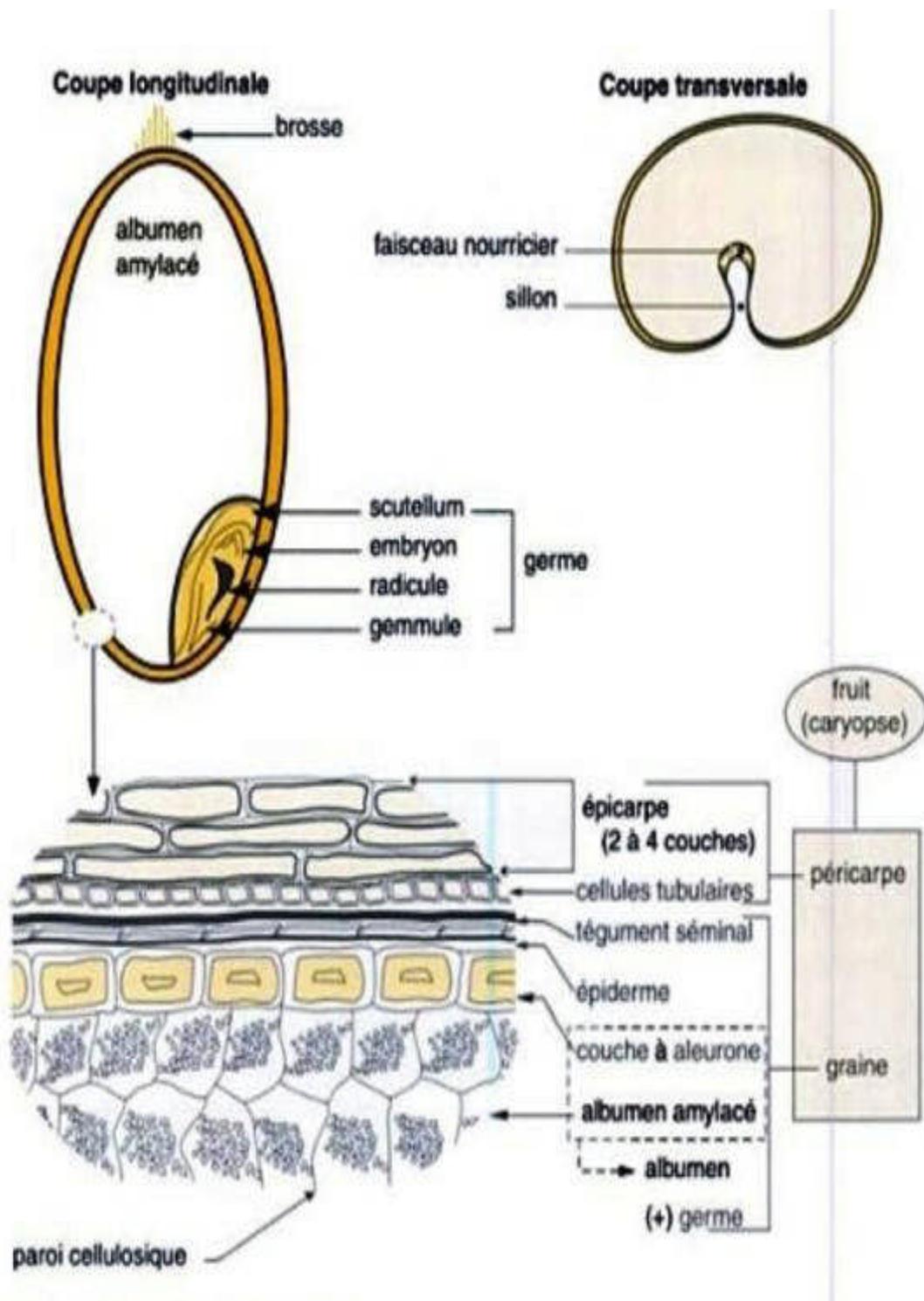


Figure 1 : Coupe longitudinale et transversale d'un grain de blé dur (FEILLET, 2000).

Tableau 2 Composition chimique du grain de blé (%ms) (Feillet, 2000).

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

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

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

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

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

L'eau

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

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

II-Technologie des transformations des blés durs en semoules

2.1-Principe de la mouture de blé dur

Selon (Godon et Willm 1998) la première transformation des céréales a pour objectif d'isoler l'albumen amylicé sans contamination par les parties périphériques du grain (enveloppes, couche à aleurone) et par le germe.

2.1.1. Réception C'est la 1^{ère} étape de la transformation du blé dur en semoule.

Le blé est transporté par des camions. Puis déversé dans une trémie de réception métallique qui va débarrasser le blé de certaines impuretés telles que les débris végétaux et les pierres ; le déversement se fait après le passage du camion sur le pont bascule (ANONYME, 1976).

2.1.2. Pré-nettoyage

Il a pour but d'éliminer les grosses impuretés avant le stockage du blé dans les silos ou dans les cellules de mélange, selon les étapes suivantes :

- Une trémie de réception qui permet la rétention de grosses impuretés telles que pailles, bois, cailloux et où l'on peut examiner le passage des quantités livrées.
- Un grand aimant permettant l'élimination des particules métalliques.
- Un séparateur rotatif assurant une séparation sommaire des produits en fonction de leur taille (Boudreau et Menard, 1992).

2.1.3. Le nettoyage

Le nettoyage constitue une opération primordiale en semoulerie qui doit être réalisée avec efficacité ; elle nécessite donc la mise en œuvre d'un nombre élevé de machines, très performantes, nettement plus important qu'en minoterie.

Les principaux objectifs du nettoyage sont les suivants :

- Enlever toutes les pierres de manière à éviter la présence de débris minéraux dans la semoule.
- Éliminer les graines étrangères.
- Enlever les insectes et les fragments d'insectes.
- Réduire la contamination microbienne.
- Éliminer, enfin, tous produits autres que les grains.

Pour atteindre ces objectifs et éliminer les impuretés, il sera mis à profit toutes les différences existant entre les grains de blé dur entiers (taille, forme, densité...) et les impuretés.

Le tableau 03 résumé la nature de ces principales différences et donne les noms, méthodes et appareils utilisés pour éliminer les impuretés

2.1.3.1. Les appareils de nettoyage (Feillet, 2000)

❖ Les nettoyeurs –séparateurs

Dans ces appareils passe le blé sur des grilles (ou tôles perforées) dont les ouvertures retiennent les impuretés les plus volumineuses (brins de paille, grains de maïs) et laissent passer les grains de blés et les petites impuretés ; ces dernières sont éliminées lors d'un deuxième passage sur des grilles dont les ouvertures retiennent les blés et les autres produits de dimension et de forme identiques.

❖ Les trieurs

Les produits sont séparés sur la base de leur plus grande dimension. On utilise à cet effet des appareils à alvéoles : cylindre rotatif alvéolé intérieurement (plus guère utilisé) au sein duquel transitent les produits, ou disque alvéolé sur ses deux faces et tournant à l'intérieur de la masse de grain (trieur Carter).

❖ Les toboggans

Ils assurent la séparation des produits en fonction de leur masse, le lot à nettoyer descendant par gravité une rampe hélicoïdale : ses composants sont soumis à la force centrifuge, les produits les plus lourds étant entraînés vers la périphérie; on sépare ainsi les blés cassés des petits grains.

❖ Les triages colorimétriques

Coûteux, ils ne sont utilisés que dans des cas très particuliers et permettent de séparer les blés sains des blés colorés, de l'ergot, des graines étrangères qui présentent une coloration foncée.

❖ La table densimétrique

Les grains sont soumis à une aspiration d'air tout en étant entraînés par un mouvement de va et vient le long d'une table vibratoire et inclinée.

Les produits se répartissent en plusieurs couches:

- Les plus légers se rassemblent dans la couche supérieure.
- Les plus lourds (pierres par exemple) restent au contact de la sole inférieure.
- les blés les plus propres sont récupérés à l'une des extrémités de la table.

❖ Les épouisseuses

Les épouisseuses qui projettent les grains contre des grilles métalliques, des parois d'émeri ou des batteurs, et les brosses, en position horizontale ou verticale, assurent l'élimination des impuretés adhérant à la surface des blés et, partiellement, de celles enfouies à l'intérieur du

1^{ère} Partie : BIBLIOGRAPHIE

sillon. Une faible proportion des couches superficielles des grains (péricarpe) peut être éliminée au cours de ces traitements par effet de choc (Grains contre grains, grain contre particules métallique ou abrasives).

Ces machines contribuent par ailleurs efficacement à la diminution de la flore bactérienne contaminant.

Tableau 03 : la nature, les noms, les méthodes et appareils utilisés pour séparer les impuretés.

Différences	Nature des impuretés	Nom de l'opération	Machines
Taille	-plus grosses ex paille, maïs -plus petites ex : sable, colza.	Tamisage ou calibrage	-nettoyeur -séparateur
Forme	-plus longues ex : avoine. -plus rondes ex : vesce. -grains cassés.	Triage	-trieur à grains longues. -trieur espèce rondes (à disque ou tambour) -trieur hélicoïdal.
Densité	-plus denses ex : pierres. -moins denses ex : ergot, grains mitadinés, les grains cariés.	Classement densimétrique	-Épierreur -laveuse -Table densimétrique.
Propriétés physico-chimique	Magnétique ex : fer	Séparation	-aimant rotatif.
Poids	-impuretés très légères ex : enveloppes, grains échaudés, petits grains.	Ventilation	-tarare.

2.2. Préparation du blé à la mouture

L'objectif de la préparation des blés, appelée aussi conditionnement, vise à modifier l'état physique des grains de manière à permettre la meilleure séparation possible au cours de la mouture entre l'albumen amylicé d'une part, les enveloppes, la couche à aleurone et le germe d'autre part. Le procédé de mouture repose dans son principe sur l'existence de différences d'élasticité et de friabilité entre les parties périphériques du grain et l'amande. Au cours du broyage, les enveloppes plus élastiques sont réduites en particules de taille supérieure à celles de l'amande, et pourront ainsi être éliminées par tamisage. La préparation va donc avoir pour but d'accroître ces différences en rendant les enveloppes plus tenaces alors que l'amande deviendra plus friable (Godon et Willm, 1990).

Cette opération comprend deux étapes :

- Mouillage et absorption d'eau par les grains.
- Distribution de l'eau absorbée à l'intérieur des grains pendant la période de repos.
- brossage des grains.

2.2 .1. Le mouillage

C'est une humidification du grain, au départ le grain de blé possédant une teneur en eau inférieure ou égale à 14% Le grain est humidifié jusqu'à environ 15,5%. Cette action se fait simplement par addition d'une certaine quantité d'eau au blé (eau froide parfois chaude ou vapeur)

2.2.2. Le conditionnement

après avoir été mouillé, le blé doit subir un temps de repos de 8h environ afin que l'eau pénètre dans le grain et se répartisse ; ce repos peut avoir lieu dans les boisseaux de repos ou dans des appareils spéciaux appelés « conditionnement sécheurs».

2.2.3. Le brossage

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

2.3. Différentes phases de la mouture

2.3.1. Phases relatives aux appareils à cylindres

- **Le broyage**

Le broyage est une opération qui permet d'ouvrir mécaniquement le grain, par cisaillement, choc ou compression et de détacher plus ou moins complètement l'amande qui se brise alors que les enveloppes, plus élastiques, résistent ; il est réalisé entre des cylindres cannelés tournant en sens inverse et à des vitesses différentes ; le rapport des vitesses est d'environ 2,5 (Feillet, 2000).

- **Le désagrégage**

Les désagrégateurs sont des appareils à cylindres munis de très fines cannelures, qui interviennent dans le traitement des semoules vêtues en éliminant les fragments de son qui adhèrent à l'amande ; les semoules sont classées en fonction de la densité et de la granulométrie. Ainsi les semoules refusées au niveau du sasseur sont appelées semoules vêtues (amande + enveloppes).

Si l'amande prédomine, on parle de semoules vêtues alors que si les enveloppes prédominent, on parle de refus (Doumandji, 2003).

- **La réduction**

Les grosses semoules (>500.µm) provenant de la tête de broyage, représentent une grande quantité, environ 50 % du poids du blé de départ ; le traitement à faire subir à ces produits, points d'articulation de diagramme, varie en fonction des caractéristiques que devront posséder les produits finis.

La réduction de ces semoules va être effective par des appareils à cylindre finement cannelés appelés réducteurs (R) qui auront pour fonction de faire passer les produits au travers d'un tamis de 500 µ d'ouverture de maille .Les produits ayant traversé ce tamis vont fournir des semoules de bonne qualité (Godon, 1991).

- **Le convertissage**

Le convertissage est une opération secondaire en semoulerie : il a pour but de récupérer des farines basses à partir des produits résiduels contenant encore des traces d'albumen mais qui ne peuvent plus donner de semoule; ce sont les seuls appareils qui en semoulerie peuvent être munis de cylindres lisses; en général, 2 passages suffisent pour cette opération (Godon, 1998).

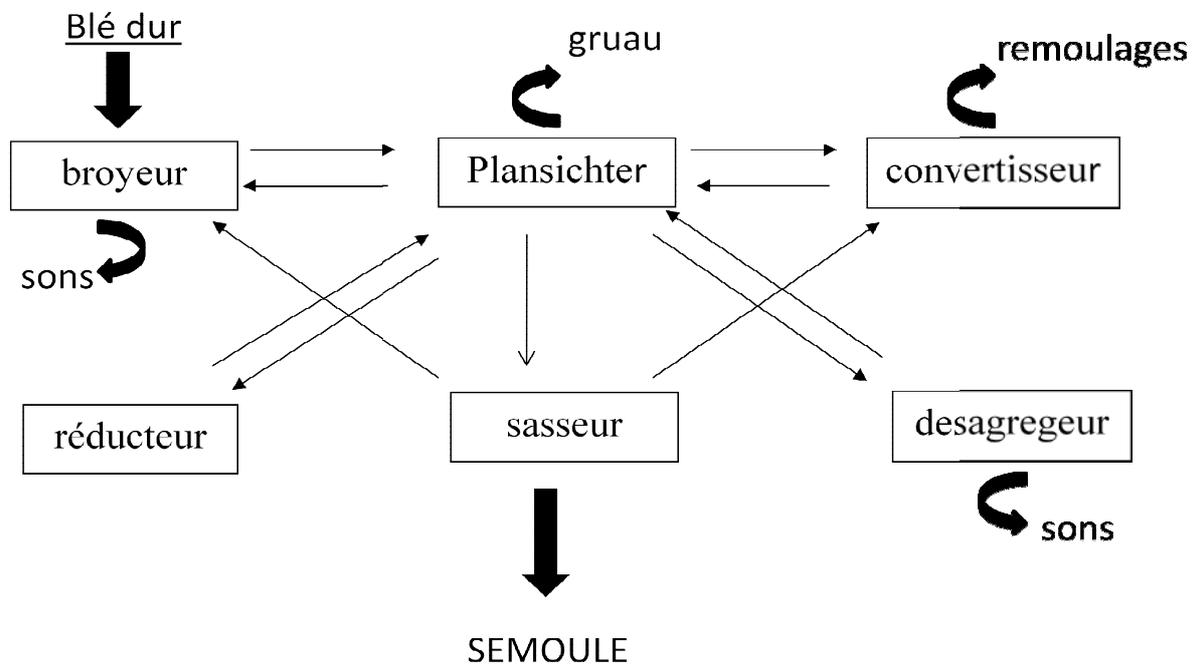


Figure 2 Principe de la mouture de blé dur (Godon Et Willm, 1998).

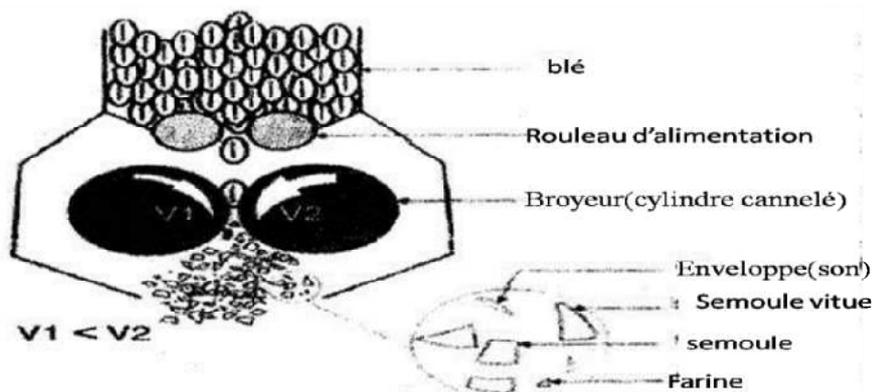


Figure 3 : Principe de fonctionnement d'un broyeur à cylindre (Feillet, 2000).

2.3.2. Phase de blutage ou tamisage

Lors de la mouture, le produit passe dans une succession d'appareils à cylindres ayant des caractéristiques différentes ; entre chaque passage, le produit est remonté par le pneumatique pour passer dans le plansichter où est réalisé le blutage ou tamisage qui consiste en une séparation des produits de mouture (semoules, farines, sons) sur la base de leurs dimensions.

La séparation a pour but l'orientation des produits vers l'appareil approprié pour continuer un travail progressif de la mouture (ANONYME, 2005).

2.3.3. Phase de Sassage dont le rôle est l'épuration des semoules:

Le sassage est une opération déterminante de la mouture du blé dur. Les sasseurs sont alimentés par les diverses catégories de semoules qui proviennent, via les diviseurs, du broyage et de la réduction ainsi que les semoules issues des désagrègeurs.

2.4. Conservation et stockage des semoules

Les produits finis sortant de l'industrie ne doivent pas s'altérer au cours de leur repos en attendant leur utilisation.

Le facteur principal de la détérioration des semoules est l'humidité qui est normalement de 14,5 % dans les semoules fraîchement fabriquées et peut atteindre 10% ou moins dans les semoules stockées dans des conditions sèches.

Une teneur en eau élevée peut être la cause de l'altération des semoules suites à leur attaque par les insectes, les acariens et/ ou les moisissures.

La semoule doit obligatoirement subir, avant d'être utilisée, un certain temps de repos entre 2 et 4 semaines, après son extraction, en vue de sa maturation ; ce phénomène peut être expliqué par la nécessité d'une stabilisation de l'état des constituants du grain, gluten en particulier, qui ont subi une action brutale du broyage au moulin (*In* : Mariche, 2000).

Figure 4 : Cycle de production de la semoulerie « SOPI »

III. La semoule

3.1. Définition des semoules

La semoule, est constituée par des fragments de l'amande du grain, aussi purs que possible dont la taille granulométrique est supérieure à 150 μ ; on distingue plusieurs types de semoules qui sont définis principalement d'après leur granulométrie (grosses, moyennes, fines et extra fines) mais également d'après leur pureté (supérieures et courantes) (Godon, 1998).

3.2. Classification des semoules

Selon le Journal officiel n°55 du 20 août 1997 (correspondant à rabia ethani 1418), les semoules sont classées comme suit :

- a- **Semoules grosses:** passage total au tamis 1220 microns, refus total au tamis 710 microns tolérance d'extraction 3 % maximum.
- b- **Semoules moyennes:** passage total au tamis 905 microns, refus total au tamis 450 microns, tolérance d'extraction 5 % maximum.
- c- **Semoules fines ou 3SE:** passage total au tamis 630 microns avec une tolérance de 5 % refus Total au tamis 155 microns, tolérance d'extraction 15% maximum.

De point de vue pureté (taux de cendres)

- Semoule courante de blé dur : le taux de cendres rapporté à la matière sèche est égal à 1,3% maximum.
- Semoules extra : le taux de cendres, rapportés à la matière sèche ne doit pas dépasser 1% avec une tolérance de 0,1 %.

Par ailleurs les semoules fines (3SE), destinés à la fabrication des pâtes alimentaires, peuvent être aussi classées en trois catégories, en fonction de leur teneur en protéines:

- Semoules contenant une teneur en protéines inférieure à 11%.

Ce sont des semoules de valeur pastière insuffisante donnant des pâtes cassantes ayant une faible résistance à la cuisson.

- Semoules contenant une teneur en protéines comprise entre 11% et 15%.
Ce sont des semoules possédant une bonne valeur pastière, l'optimum étant de 12 à 13%.
- Semoules contenant une teneur en protéines supérieure à 15%:

Ce sont des semoules de valeur pastière très élevée à utiliser de préférence en coupage avec des semoules de teneur en protéines faible (Fourrar, 2011).

L'utilisation de ces semoules est la suivante :

- Semoules grosses: usages domestiques.
- Les semoules moyennes : fabrication de la galette et du couscous.
- Les semoules sassées super extra: fabrication des pâtes alimentaires.
- Les semoules sassées super fines: (SSSF) : fabrication du pain et autres usage domestique

3.3. Composition chimique et biochimique de la semoule

Celle-ci est illustrée par le tableau 5

Tableau 04 composition chimique et biochimique de la semoule (ANONYME, 2005)

Constituants	Pourcentage (%)
-Eau	14.5
- Amidon	75
- Lipides	1-1.5
- Protéines	11 -13
- Sucres simples	1- 2
- Matières minérales	0.8 - 1.1
- Cellulose	0.20-4.5
- Teneur en pigments caroténoïdes	4 - 8

3.3.1. Les glucide

C'est le groupe pondéral le plus important dans les semoules, la proportion la plus importante étant représentée par l'amidon.

3.3.1.1. L'amidon

Composant majoritaire qui peut atteindre 82% de la matière sèche de la semoule de blé, il joue un rôle important dans la détermination de la qualité des produits céréaliers; et il a des propriétés rhéologiques particulières (solubilités et gonflement) qui conditionnent la qualité culinaire des pâtes et leur caractère.

3.3.1.2. Les sucres simples

La semoule contient 1 à 2 % de saccharose, une petite quantité de maltose, et de dextrine soluble.

La structure de ces sucres favorise l'action enzymatique et la libération très rapide des sucres simples tels que le glucose et le fructose. (Godon, 1991).

3.3.2. Les protéines

Les protéines sont le deuxième élément en importance dans la semoule de blé, leur teneur varie de 8 % à 16 % /Ms (base sèche) selon la variété et le degré de maturité du grain (Boudreau et Germen 1992).

3.3.3. Les matières grasses

La semoule de blé contient une basse teneur en matières grasses (1,5 % à 2% sur une base sèche)

Les lipides jouent un rôle relativement efficace sur le plan nutritionnel, par contre, ils ont une influence notable sur l'ensemble des autres qualités des produits de transformation (Boudreau et Germen 1992).

3.3.4. Les matières minérales

La semoule présente une faible teneur en matières minérales, le taux de cendres (matières minérales après incinération) variant d'une semoule à l'autre et dépendant essentiellement de la mouture. En Algérie, le taux de cendres des semoules supérieures produites est fixé à 1% avec une tolérance de 0,1 % (décret exécutif n° 07- 402 du 25 décembre 2007, JO n° 80).

3.3.5. Les enzymes

On distingue les lipoxygénases, responsables de la destruction des pigments caroténoïdes par oxydation au cours de la pastification, les peroxydases et les polyphénoloxydases responsables du brunissement des pâtes au cours du malaxage et les amylases, à la base de la synthèse de sucres réduits (maltose) susceptibles de développer, sous certaines conditions une couleur rouge et un goût caramélisé par suite de réaction de Maillard (Bossu, 2005).

3.3.6. Les vitamines

Dans la semoule, les vitamines sont en quantité relativement faible. La seule vitamine liposoluble présente est la vitamine E (tocophérol) qui est localisé dans le germe (*In*: Mariche, 2000).

3.4. Caractéristiques technologiques de la semoule

On regroupe sous le terme valeur industrielle ou technologique les aspects qualitatifs suivants :

- ✓ La valeur semoulière.
- ✓ La valeur pastière.

Le terme de valeur semoulière englobe la somme des qualités que présente un blé lors de sa mouture. La valeur pastière se rapporte à l'appréciation des qualités des pâtes obtenues avec la semoule du blé considéré.

3.4.1. Valeur semoulière

La valeur semoulière, est l'aptitude d'un blé dur à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée.

Elle est tributaire de deux facteurs principaux:

- La proportion d'enveloppes et la facilité de les séparer de l'amande.
- La texture de l'amande car le grain fournira d'autant plus de semoule que sa texture est vitreuse et dure (Godon et Loisel, 1997).

La valeur semoulière est déterminée soit indirectement soit directement.

3.4.1.1. Appréciation indirecte de la valeur semoulière

Cette appréciation est déterminée avec des tests bien définis, parmi lesquels peuvent être cités:

3.4.1.1.1. Le poids de 1000 grains

C'est la masse de 1000 grains entiers, ce qui nous renseigne sur le degré d'échaudage d'une variété.

3.4.1.1.2. La teneur en eau

La teneur en eau des grains est très importante pour le technicien et l'agréeur au niveau de la commercialisation des grains, de leur transformation (conditionnement avant mouture) et de leur conservation (Fourar ,2011).

La teneur en eau des grains est généralement comprise entre 5 et 14 % (Legendre 1953).

3.4.1.1.3. Le taux et la nature des impuretés (Fourar, 2011)

Le taux d'impuretés, autre élément qualitatif, définit la présence de petits grains, grains cassés, germés ou autres éléments indésirables.

- Grains cassés ou brisés : Incidence directe du battage ou des transports mécaniques quand le grain est sec. On observe une diminution des rendements, car ces grains sont éliminés au cours du nettoyage précédant la mouture. Mais l'incidence la plus importante est l'exposition directe aux phénomènes d'oxydation, posant des problèmes de stockage et rendant les grains plus accessibles aux attaques des insectes et des moisissures.

- Grains germés : grains ayant subi des conditions de température et d'humidité favorables au démarrage de l'activité enzymatique propre à la germination. Grains que l'on reconnaît par le gonflement du germe, l'éclatement de l'enveloppe au niveau de l'embryon, l'apparition puis le développement de la radicule et de la plumule.

- Grains échaudés et petits grains : Il s'agit de grains desséchés avant maturation à la suite d'un défaut d'alimentation en eau. Un grain échaudé sera rabougri, ridé, déformé, conséquence d'un mauvais remplissage. Leur incidence porte sur l'affaiblissement du rendement semoulier.

- Grains attaqués par les déprédateurs : Ce sont des grains attaqués en champ ou au stockage par des insectes ou des rongeurs. Ils se remarquent par la présence de galeries, de trous, de germes rongés, des débris et d'excréments dans le grain. Il en résultera un PS plus faible et une qualité sanitaire diminuée. Les déprédateurs peuvent donner une couleur et/ou une odeur désagréable aux produits transformés, ce qui va influencer négativement sur la qualité commerciale.

- Grains chauffés : Ils se reconnaissent à leur couleur cuivrée faisant suite soit à une température anormalement élevée, soit à la fermentation au niveau du stockage. Ces grains dégradent la qualité boulangère et sanitaire d'un lot.

- Grains cariés et boutés : ces grains renferment une poussière d'odeur fétide et de coloration brun noirâtre, composée par les spores d'un champignon (la Carie). Ils éclatent facilement et les spores viennent ensuite se fixer dans le sillon et la brosse des grains sains, qui sont appelés des grains boutés. Ceux-ci ne sont pas comptabilisés en impuretés, mais se

reconnaissent par une coloration noirâtre des poils de la brosse ou dans le sillon, donnant une farine « sale ». La présence de carie dans un lot rend le grain impropre à la consommation.

- Grains fusariés : Ce sont des grains contaminés par un champignon le *Fusarium*. Provoquant des dommages comme l'échaudage et une surface blanchâtre ou rose, Les *Fusariums* sont capables (s'ils sont dans de certaines conditions) de synthétiser des toxines dangereuses pour la santé humaine ou animale (déoxynivalénol, zéaralénone, fumonisines,...).

- Graines étrangères : La plupart des grains étrangers rencontrés dans les blés peuvent être éliminées au cours du nettoyage du fait de leur densité et de leur forme différentes de celles du grain de blé. Certaines graines sont nuisibles et/ou toxiques pour l'homme ou les animaux. Elles modifient les caractères organoleptiques des produits issus du grain. Ces graines sont issues des 7 plantes suivantes (Nielle, Mélampyre, Céphalaire de Syrie, Fénu grec, Ail et Ivraie)

- **Ergot** : C'est un sclérote qui contient des alcaloïdes qui peuvent entraîner des hallucinations et même la mort, l'ergot est une masse oblongue noire avec une amande blanche-grisâtre dont la présence doit être sérieusement sanctionnée.

- Les impuretés spécifiques au blé dur : Les grains mouchetés sont des grains présentant en surface des tâches brunes ou noires provoquant des points noirs dans la semoule et les pâtes alimentaires issues.

- Les grains mitadinés est un grain qui après avoir été coupé présente une ou plusieurs plages farineuses (un grain de blé dur est normalement vitreux) diminuant ainsi le rendement semoulier. L'origine se situe dans des taux protéines trop faibles pour du blé dur.

Pour mettre en évidence l'importance du mitadinage, on détermine :

Le taux de mitadinage

Sur le plan technologique les blés durs mitadinés entraînent une diminution du rendement semoulier : leur amande, plus friable, se désagrège en farine au lieu de se transformer en semoules. En outre, certaines semoules peuvent provenir des parties mitadinées, farineuses, et seront visibles dans les pâtes alimentaires sous forme de piqures blanchâtres.

3.4.1.1.4. Le taux de cendres

Il nous renseigne sur la quantité de matières minérales contenues dans le blé ou la semoule, cependant Matveef et Feillet (1970) ont démontré que le taux des matières

minérales n'avait que peu de signification, et que la pureté d'une semoule ne pouvait être correctement appréciée que par la détermination du rapport R.

$$R = \frac{\text{Teneur en cendres des semoules}}{\text{Teneur en cendres de blés}}$$

Le but est d'éviter ainsi de pénaliser les variétés trop minéralisées mais pratiquement ce n'est pas appliqué (Fourar, 2013).

3.4.1.1.5. Masse à l'hectolitre

Elle consiste mesurer la masse d'une céréale contenue dans un certain volume (officiellement 50L ou 20L, au laboratoire : 1L ou 250 ml) rempli de grains mais également d'impuretés, d'eau et d'air interstitiel ce qui rend le résultat tributaire de nombreux facteurs : taux et nature des impuretés ; forme, grosseur, vitrosité, état sanitaire, teneur en eau des grains. Sa relation avec le rendement en produits finis n'est pas toujours vérifiée du fait des facteurs cités qui influencent le résultat mais également des nombreuses fraudes possibles relatives à une accentuation du tassement des grains dans le demi-hectolitre (talcage, huilage des grains ;chocs, vibration ;....) entraînant un «PS » anormalement élevé ; bien que sujet à nombreuses critiques de la part des scientifiques, cette analyse est jusqu'à nos jours, utilisée au niveau mondial dans la détermination de la valeur commerciale des céréales (Fourar, 2011).

3.4.1.1.6. Le calibrage des grains

C'est la détermination en poids, des gros, moyens et petits grains ainsi le calibrage indique la taille et l'homogénéité des grains. Cela permet estimation du rendement en semoules.

3.4.1.2. Appréciation directe de la valeur semoulière

Celle-ci peut être déterminée par la mouture d'essai à partir d'un moulin de laboratoire dont le diagramme se rapproche de celui du moulin industriel (Fourar, 2011)

3.4.2. La valeur pastière

3.4.2.1. Définition

Sous ce terme, peuvent être regroupées deux notions très distinctes (Abecassis et Chaurand ,1997) :

- L'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires (facilité de malaxage, de tréfilage, de séchage) en relation avec la teneur et la qualité du gluten.

- La qualité des produits finis qui concerne l'aspect des semoules et des pâtes alimentaires issues ainsi que la tenue des pâtes avant et après cuisson.

4.2.1. L'aspect des semoules. Il est fonction de deux facteurs :

- Les piqûres:

- Brunes: Ce sont des particules de son non éliminées au cours de la mouture; elles sont d'autant plus nombreuses et visibles que la mouture est mal conduite (mauvais conditionnement ou blutage,...), que le taux d'extraction est élevé et que les enveloppes des grains sont plus foncées.

- Noires: Elles peuvent provenir de grains mouchetés, de graines de mauvaises herbes (moutarde, *sinapis arvensis*), de l'ergot

- De coloration autre suite à l'incorporation de graines de mauvaises herbes ou de graines cultivées dont la couleur diffère de celle du grain de blé (glaïeul, maïs,...). Ceci est possible lorsque le nettoyage est inefficace.

- La coloration

Des variétés de blé dur à grains roux étaient cultivées autrefois. Actuellement, elles ne le sont plus et les grains de blé dur roux présents dans un lot soumis à l'agrégage sont considérés comme impurifiés. En effet, la couleur la plus appréciée par le fabricant de pâtes alimentaires et le consommateur est la couleur jaune ambrée. Cette coloration peut être considérée comme la somme d'une composante jaune que l'on désire élevée et d'une composante brune ou grise qui doit être faible. Elle dépend :

- De la teneur en pigments jaunes ou pigments caroténoïdes, principalement la xanthophylle (fonction de la variété),

- De la composante brune due à la présence d'un complexe protéine-cuivre influençant négativement l'aspect visuel de la semoule (fonction de la variété),

- Des conditions de mouture des grains: l'élimination plus ou moins complète du germe, très riche en lipoxygénases, ainsi que la présence de particules d'enveloppes dégradent la couleur de la semoule et des pâtes alimentaires.

La granulation des semoules intervient également : plus la semoule est fine, moins jaune elle apparaît.

- Des conditions de pastification: l'aération au cours du pétrissage agit négativement sur la composante jaune suite à l'activité de la lipoxygénase qui oxyde les pigments caroténoïdes. Il est donc conseillé de réaliser le malaxage sous vide.

3.4.2.2. Appréciation indirecte de la valeur pastière

Celle-ci peut être appréciée indirectement par la détermination de la qualité de la semoule qui est la matière première de base pour la fabrication des pâtes alimentaires. La valeur pastière est déterminée par le dosage de différents composants biochimiques, en particulier protéines, qui constituent le support essentiel de la qualité technologique des blés. La teneur en gluten et sa qualité, selon Matveef (1966), Matsvo et Irvine (1970) jouent un rôle important dans la cuisson (fermeté, délitescence et gonflement). Les différents tests pouvant être effectués sont:

3.4.2.2.1. Les protéines

La connaissance de la teneur et de la qualité des en protéines présente un intérêt technologique et nutritionnel.

Les protéines sont les molécules dont dépend principalement la qualité des pâtes alimentaires, par le biais des gliadines et des gluténines (Feillet, 2000). Il a été montré que la quantité de gluten extractible diminue au cours du laminage d'une pâte et qu'il devient impossible de l'isoler par lixiviation après un travail mécanique de la pâte très intense (Feillet, 2000).

La qualité des protéines peut être effectuée par la détermination du gluten (quantité mais surtout qualité). Les Propriétés mécaniques du gluten peuvent nous donner une idée sur la ténacité, l'extensibilité et l'élasticité de la pâte. Le dosage du gluten permet un classement variétal des semoules, au niveau de leurs caractéristiques rhéologiques ; la capacité d'hydratation des semoules peut être évaluée ce qui permet d'avoir une idée de la valeur semoulière et pastière.

3.4.2.2.2. La granulométrie

Elle nous renseigne sur les dimensions des particules de semoules et leur homogénéité, ce qui a une influence sur le taux d'hydratation de la semoule et la pureté des semoules.

3.4.2.2.3. La détermination du taux des cendres des semoules

Elle permet de donner la concentration en matières minérales des semoules qui influencent l'aspect des pâtes par la présence des piqûres existantes et la pureté des semoules.

3.4.2.2.4. La teneur en matières grasses

Ce dosage est intéressant car il nous renseigne sur la possibilité et la durée de conservation d'un produit. En effet, un blé ou dérivé stocké dans de mauvaises conditions peut rancir et s'acidifier (acidité grasse) d'où réduction de la qualité technologique, sanitaire et commerciale. Il n'est cependant pas effectué d'une façon courante car il nécessite du matériel et des réactifs coûteux.

3.4.2.2.5. Acidité grasses

C'est un indice qualitatif qui permet de juger et d'apprécier la fraîcheur et l'état de santé du produit à analyser ainsi que son aptitude au stockage.

L'acidité grasse est fortement corrélée à la masse à l'hl et à la capacité germinative et elle dépend du nombre d'insectes, formes cachées, de la charge microbienne des grains et de leur teneur en eau (Fourar, 2013). Ainsi, dans un lot de blé sain, l'acidité grasse est basse par opposition au « PS » et à la capacité germinative qui sont élevés. Suite à l'élévation de la teneur en eau des grains favorisant d'une part l'infestation et d'autre part l'infestation par la flore totale, un échauffement des grains peut avoir lieu, les rendant plus propices aux réactions chimiques et enzymatiques, telles que l'hydrolyse des lipides d'où acidification du milieu ; les risques d'altération d'un lot de blé sont d'autant plus élevés que la teneur en eau et la température des grains s'élèvent.

3.4.2.3. Appréciation directe de la valeur pastière (Godon et Loisel, 1997)

Sous le terme de valeur pastière peuvent être regroupées deux notions très distinctes: D'une part, l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires (facilité de malaxage, de tréfilage, de séchage) ; d'autre part la qualité des produits finis. Concernant les produits finis deux critères sont essentiels:

3.4.2.3.1. L'aspect des pâtes à l'état cru.

3.4.2.3.1.1. La coloration :

La couleur constitue actuellement un critère majeur de la qualité des pâtes alimentaires. Elle est fortement liée à la qualité des blés mise en œuvre, et elle est considérée comme la somme d'une composante jaune que l'on souhaite élevée, et d'une composante brune qui doit être faible.

La composante jaune

Elle dépend de la teneur en pigments caroténoïdes présents dans la semoule et de l'activité des oxydoréductases (notamment la lipoxygénase) susceptibles de provoquer l'oxydation des pigments au cours de la pastification.

✚ La composante brune

Le brunissement des pâtes alimentaires est un caractère indésirable multifactoriel. Il serait fortement influencé par : la variété du blé dur mis en œuvre (présence d'une protéine cuivrique responsable de la composante brune), par l'activité polyphénoloxydasique et peroxydasique des semoules (qui augmente lors d'une contamination par les parties périphérique), ainsi que par des températures de séchage élevée lors de la pastification qui intensifient les réactions de Maillard.

3.4.2.3.1.2. Les gerçures :

Se sont des brisures (fêlures) qui apparaissent dans les pâtes sèches suite à un mauvais séchage. Elles se produisent sous l'effet de tensions internes, et il en résulte un aspect déplaisant et une faible résistance à l'emballage.

3.4.2.3.1.3. Les piqûres : il existe trois sortes de piqûres :

- les blanches qui sont le résultat d'une hydratation insuffisantes lors de la pastification ;
- les brunes, qui témoignent d'une contamination des semoules par des particules de son ;
- les noirs, qui proviennent généralement de blés ergotés ou mouchetés non éliminés lors de la mouture.

3.4.2.3.1.4. La texture superficielle :

La texture des pâtes extrudées peut être lisse ou rugueuse, et cela dépendait la nature du moule utilisé ; les moules en téflon confère aux pâtes un aspect lisse et brillant, tandis que ceux en bronze favorise le développement d'une structure hétérogène et rugueuses.

3.4.2.3.2. La qualité culinaire des pâtes

Les protéines sont les composantes du gluten dont la quantité et la qualité conditionnent pour une grande part la valeur pastière des semoules. La qualité culinaire des pâtes alimentaires issues doit être bonne c'est à dire qu'après cuisson, ces pâtes doivent rester fermes et ne pas coller.

La qualité culinaire regroupe différentes caractéristiques:

- La texture des produits cuits qui rend compte de la fermeté et de la masticabilité des pâtes après cuisson;
- L'état de surface ou de désintégration des produits cuits dont dépend le collant et l'aspect plus ou moins lisse des pâtes cuites;
- Le gonflement ou l'absorption d'eau pendant la cuisson;
- L'arôme et le goût des pâtes

Les différences de qualité culinaire observées entre semoules seraient dues à la plus ou moins grande aptitude des protéines à former en cours de pastification un filet capable d'enserrer dans

ses mailles les autres constituants des semoules, notamment l'amidon. C'est ainsi que la teneur en protéines interviendrait pour les 2/3 et la qualité de ces protéines (propriétés intrinsèques) pour 1/3. Il a été observé qu'une qualité culinaire intrinsèque élevée était associée à la présence de constituants protéiques particuliers tels que le composant électrophorétique gliadine 45 (Feillet, 2000).

IV. Les Pâtes alimentaires

4.1. Définition

La dénomination de pâtes alimentaires est donnée aux produits prêts à l'emploi culinaire, préparés par pétrissage, sans fermentation, de semoule de blé dur additionnée d'eau potable ; ils sont alors soumis à des traitements physiques appropriés telle que tréfilage, laminage et séchage ce qui donne les caractéristiques physique (Feillet, 2000).

4.2. Classification

L'industrie des pâtes alimentaires comprend la fabrication de nombreux produits, qui se divisent, selon leur forme, en pâtes longues (spaghetti) et en pâtes courtes macaroni, coudés).

Il existe aussi sur le marché de nombreuses pâtes de spécialité ou de fantaisie (boucles, coquillages, cannellonis, lasagnes, roues...).

C'est ainsi qu'on classe les pâtes en deux catégories bien distinctes, suivant la machine dont elles sont issues (Medjkane et Ouksoum, 2005).

4.2.1. Les pâtes extrudées

Elles sont préparées à l'aide de presses munies de filière qui forment les pâtes longues ainsi que les macaronis, les spaghettis, les torsades (Boudreau, 1992).

4.2.2. Les pâtes laminées

Elles sont fabriquées dans une presse munie d'une filière à fentes ou par des malaxeurs spéciaux capables de façonner des pâtes sous forme de feuilles larges et minces.

Des emporte pièces permettent d'obtenir les formes désirées comme les nouilles, les papillons... (Boudreau, 1992).

4.3. Composition biochimique des pâtes alimentaires

Les pâtes alimentaires étant fabriquées à partir de semoule hydratée, leur composition biochimique est similaire à celle de la matière première (Tableau 6).

Tableau 06: Composition chimique des pâtes alimentaires (Louis, 1998)

Constituants	Teneur % / MS
Eau	10.76
Protéines	12.99
Amidon	55.13
Lipides	1.04
Cellulose	1.03
Cendres	1.15

4.4. Matières premières employées dans la fabrication des pâtes alimentaires

4.4.1. La semoule

Il est essentiel qu'une semoule destinée à la fabrication de pâtes alimentaires, qualifiée bonne, possède de façon régulière un ensemble de qualités physiques, chimiques et plastiques harmonieusement combinées.

D'après Renadine (1951) semoule adaptée pour pâtes est une semoule classe 3SE provenant des tamis 50-60, à granules de même dimension et de teinte uniforme, issue d'un blé dur d'un poids moyen à l'hectolitre de 80 kg ; extraite à un taux maximum de 60, la teneur en gluten sec doit être comprise entre 11 et 15% / MS, avec un optimum de l'ordre de 13%. Au taux de blutage indiqué la teneur en eau ne devrait pas dépasser 13 %, le taux en cendres 0,75 % et les matières grasses 0,90 à 1% (législation algériennes).

4.4.2. L'eau

L'eau de fabrication ne doit pas laisser après évaporation un résidu supérieur à 400 ou 500 mg par litre et ses composants ne doivent pas s'écarter des limites ci-dessous

- carbonates de chaux et magnésium : 180 à 200 mg
- sulfates : 70 à 90 mg
- Silicates : 25 à 30 mg
- nitrates et nitrites : 5 à 10 mg

- chlorures : 5 à 10 mg
- matières organiques : 10 à 40 mg

Il est indispensable en premier lieu que l'eau soit limpide et inodore ; elle doit être neutre et sa dureté totale ne doit pas dépasser 300° hydrotimétrique (Renaudin ,1951)

4.5. Technologies de fabrication des pâtes alimentaires

La fabrication des pâtes alimentaires comprend plusieurs étapes:

4.5.1. Préparation de la semoule

Opération consiste en une épuration de la semoule, afin de la débarrasser des impuretés et des matières étrangères qu'elle peut encore contenir. L'élimination de ce corps étrangers est d'une extrême importance et se fait généralement par tamisage.

4.5.2. Premier pétrissage

Cette opération consiste dans le mélange de l'eau et de la semoule, dans le but d'obtenir une pâte.

Cette opération s'effectue dans un pétrin mélangeur ou dans une centrifugeuse horizontale et l'eau absorbée doit pénétrer dans les granules de semoule et réagir avec les constituants, principalement les protéines.

4.5.3. Deuxième pétrissage

Cette opération a pour rôle d'assurer la cohésion parfaite des morceaux de pâte pour former une couronne de pâtes continue, absolument homogène, de même largeur et même épaisseur, sur toute sa longueur.

Durant ce pétrissage, les protéines insolubles (gliadines, et glutinines) de la semoule vont se complexer pour former un réseau.

Le malaxage est réalisé dans une mélangeuse horizontale munie de deux arbres palettes dont la disposition et l'orientation sont faites pour réaliser une translation longitudinale du mélange en préparation.

L'emploi du vide est devenu indispensable dans la fabrication, pour obtenir des produits de bel aspect (pâtes lisses et uniformes, de belle couleur), diminuer la teneur en oxygène des pâtes réduisant de ce fait la destruction des pigments caroténoïdes par la lipoxygénase et empêcher la formation de bulles d'air responsables de graves défauts dans le produit extrudé (AFREM, 2005).

4.5.4. Pressage et tréfilage

Il s'agit d'amener la pâte à la forme désirée en exerçant sur elle une très forte pression qui l'oblige à traverser les filières d'un moule. Le tréfilage assure un dernier pétrissage qui confère à la pâte un aspect lisse et brillant.

Une pâte douce et molle nécessite une pression basse ; une pâte froide et sèche nécessite une pression forte.

La vis de pression provoque une montée en pression et entraîne simultanément la pâte dans le moule, qui est serré dans la tête de filière, avec un moule correspondant ; on peut pratiquement fabriquer tous les formats souhaités, les divers formats peuvent être coupés à une certaine longueur; le changement de moules est résolu de façon rationnelle alors que le nouveau moule est engagé hydrauliquement et simultanément expulsé (AFREM, 2005).

4.5.5. Séchage des pâtes alimentaires

Si le séchage n'était qu'un des principes généraux sur lequel est basée la conservation; il consisterait à éliminer simplement l'excès d'eau des pâtes alimentaires, de 30-32 % jusqu'à 12.5%.

En réalité, le séchage des pâtes est un stade important de fabrication faisant suite au pétrissage et tréfilage : c'est la phase certainement la plus délicate.

En effet, le séchage doit non seulement permettre de rendre les pâtes insensibles aux influences extérieures pendant son stockage, mais également d'exalter et de stabiliser la qualité des matières premières utilisées et du traitement mécanique de mise en forme du produit fabriqué, c'est ce qui rend cette étape du procès très sensible.

Le séchage des pâtes par entraînement repose sur la circulation d'un air plus ou moins sec sur les pâtes humides. En passant à travers le produit, l'air se charge en humidité et se refroidit. En contre partie, le produit cède de l'humidité et se réchauffe.

Le séchage des pâtes n'est pas uniquement un phénomène physique de déshydratation ou d'évaporation mais un phénomène physico- chimique, et il n'est pas exagéré de dire qu'il représente l'opération essentielle de fabrication (Renaudin, 1951).

4.5.5.1. Les différentes phases de séchage (Fourar, 2013)

Le pré séchage (incartemento) : C'est la phase préliminaire et la plus importante du séchage il doit permettre :

- D'enlever à la pâte, dans un laps de temps très court, une proportion d'eau relativement élevée (30 à 35% de l'eau que contient la pâte). La durée de l'opération varie avec le format de

la pâte mais elle est limitée (30 mn à 1h) de sorte à éviter tout développement de moisissures et à freiner brusquement le processus de fermentation.

- De stabiliser la pâte dans sa forme: empêcher l'aplatissement de certains gros formats, l'agglomération des pâtes courtes et fines par collage, l'allongement démesuré ou la chute des pâtes longues sur cannes (ce dernier accident peut être dû à la qualité de la semoule : Valeur pastière basse, semoule issue de blé punaisé, germe, avarié).
- D'obtenir des pâtes plus transparentes, d'un plus bel aspect. Les pâtes qui restent trop longtemps humides sont mates et plus sombres.
- D'abrèger la période de séchage définitif.

Le «rinvenimento» : C'est le temps d'arrêt ou de repos qui suit immédiatement la phase d'incartamento et précède celle du séchage définitif.

Le rinvenimento consiste à obtenir le ramollissement la pâte afin de rétablir, dans toute la masse, l'équilibre d'humidité momentanément rompu par la forte ventilation subie à l'incartamento. En effet, cette ventilation a desséché la partie externe de la pâte alors que la partie interne contient encore une proportion d'eau élevée, Il y a donc, entre ces deux parties, des différences de contraction qui, si elles étaient trop accentuées, aboutiraient à des fêlures sinon à la rupture des formes. Pour obtenir le ramollissement, il faut arrêter l'évaporation en supprimant d'une part la ventilation et, d'autre part, en plaçant la pâte dans un milieu dont l'atmosphère est déjà saturée d'humidité ou qui le deviendra par l'humidité sortant de la pâte elle-même. Dans ce dernier cas, ce milieu peut être le séchoir définitif à condition qu'il soit de dimensions assez restreintes.

La durée du rinvenimento est extrêmement variable car il faut tenir compte du format de la pâte et du degré de saturation de l'atmosphère. On se rend compte que le rinvenimento est effectué lorsque la pâte donne, au toucher, une sensation d'humidité et d'élasticité.

Le séchage définitif : C'est la phase qui doit amener graduellement la pâte à une teneur en eau légale de 12,5%. C'est la plus longue et elle est effectuée dans des appareils spéciaux où les périodes de ventilation avec admission d'une plus ou moins grande quantité d'air, plus ou moins saturé d'humidité, alternent avec des périodes de repos.

La durée totale du séchage définitif est très variable suivant les formats et la méthode choisie: séchage rapide ou séchage lent à «l'italienne », T°. Traditionnellement, les pâtes sèchent à l'air chaud; à hygrométrie assez élevée et température relativement basse pour éviter les « gerçures ». De plusieurs jours de séchage, il y a un siècle, on est passé ces dernières décennies (France et Ollivier, 1985), à des temps de 10 à 15 heures en utilisant des températures considérées déjà

comme élevées (50 à 60°C). Actuellement, le séchage peut être fait à très haute T° (> 100°C), généralement pour les pâtes courtes (1 h 15 à 1 h 45) mais également pour les pâtes longues (2 à 3 h).

D'après Feillet (1987), les avantages du séchage à haute température (HT) et très haute température (THT) sont les suivants:

- ✓ Diminution des contaminations bactériennes au cours du séchage,
- ✓ Amélioration des propriétés organoleptiques (couleur et tenue à la cuisson),
- ✓ Diminution des dépenses énergétiques,
- ✓ Accroissement de la capacité du séchoir

4.5.6. Refroidissement ou stabilisation en silos

Le refroidissement est la dernière phase du diagramme de fabrication des pâtes : il est en effet primordial d'assurer un refroidissement efficace pour stopper le séchage, qui pourrait se prolonger de manière incontrôlée dans les silos de stockage ; entre la sortie du refroidisseur et la mise en paquet, une pâte ne doit perdre au maximum que 0.5% d'eau. Ceci est obtenu en plaçant les pâtes à une température proche de celle des conditions de stockage (20-25° C) (Bossu, 2005).

4.5.7. L'emballage

Une fois refroidies à une température de 25°C, les pâtes sèches par des cellules de stockage munies de tapis roulants sur lesquels celle-ci circulent lentement équipées de fonds vibrants qui assurant le dosage à la sortie.

Les pâtes sont acheminées vers des balances électroniques ou des remplisseuses volumétriques, puis elles sont réparties en portion vers les empaqueteuses automatique.

Les pâtes sont emballées avec soit dans les feuilles de polypropylène, dans des boites pliantes ou sous cellophane.

L'automatisation a été développée par les constructeurs pour la mise en boite des formats les plus courants comme les pâtes longues ; en plus de contrôler la pesée et l'absence de matières étrangères ou de pièces métalliques, le fabricant doit également maintenir une propreté exemplaire.

Pour ce qui est des pâtes finis non classées, il est préférable de les réintroduire tels quels en fabrication, les retailles encore humides sont incorporées à la matière première (malaxage) dans un pourcentage limité (10 %) tandis que les pâtes sèches sont rebroyées à une granulométrie similaire à la semoule et dirigées vers des cellules de stockage (Fig. 9) (Boudreau, 1992).

1^{ère} Partie : BIBLIOGRAPHIE

Tableau 06 : Récapitulatif des différentes phases de séchage (AFREM ,2005)

Séchoirs	Objectifs	Caractéristiques de l'air	Temps de passage
TRABATTO	<p>Réduire l'excès d'eau des surface des pates de (30 a 28 %)</p> <p>Figier la forme et diminuer le risque de collage et des déformations dès leur mise en contact</p>	<p>Air chaud et sec</p> <p>Très forte ventilation</p> <p>Tout en évitant un routage trop important (gerce)</p>	COURT
RESECIAGE	<ul style="list-style-type: none"> • Evapore rapidement l'eau de surface des pâtes de 28 à 16-18 %, tout en les conservant souples et non gercées • Migration de l'eau centre à la périphérie des pâtes 	<p>Air chaud et sec</p> <p>Vitesse d'air élevée</p>	COURT (hauteur du produit faible)
SECHAGE	<p>Etablir une répartition de l'eau la plus homogène possible et stabiliser ainsi les tensions mécaniques.</p>	<p>T°C modérée</p> <p>HR% élevée</p> <p>Vitesse d'air basse</p>	LONG (hauteur du produit épaisse)

4.6. Propriétés organoleptiques, nutritionnelles et hygiéniques des pâtes alimentaires

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

4.6.1. Aspect des pâtes alimentaires

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

4.6.1.1. Les gerçures

La gerçure est un accident grave de fabrication qui se traduit par l'apparition de fissures dans les pâtes sèches ; l'aspect des produits devient déplaisant et la résistance à l'emballage faible (Feillet, 2000).

4.6.1.2. Les piqûres

On distingue différents types de piqûres :

Piqûres blanches: elles proviennent de mauvaises conditions de pastification (hydratation, malaxage, séchage) (Doumandji, 2003).

Piqûres brunes: elles témoignent d'une purification insuffisante des semoules au cours de la mouture et de la présence de particules de son d'autant plus visibles que le péricarpe des grains est foncé (Feillet, 2000).

Piqûres noires: elles sont dues à la présence de grains mouchetés, de l'ergot ou des graines étrangères fortement colorées (Feillet, 2000).

4.6.1.3. La texture superficielle des pâtes

La texture superficielle des pâtes est lisse ou rugueuse; elle dépend de la nature des moules utilisés: moules en téflon conférant aux pâtes un aspect lisse et brillant, moules en bronze favorisant le développement d'une surface plus rugueuse et hétérogène (Feillet, 2000).

4.6.1.4. La coloration

La coloration des pâtes se traduit dans l'apparence du produit fini par une teinte claire et une couleur jaune ambrée. Cette coloration peut être considérée comme la somme d'une composante jaune que l'on désire élevée et d'une composante brune ou grise qui doit être faible. Elle dépend :

- De la teneur en pigment jaunes ou pigments caroténoïdes, principalement la xanthophylle (fonction de la variété),

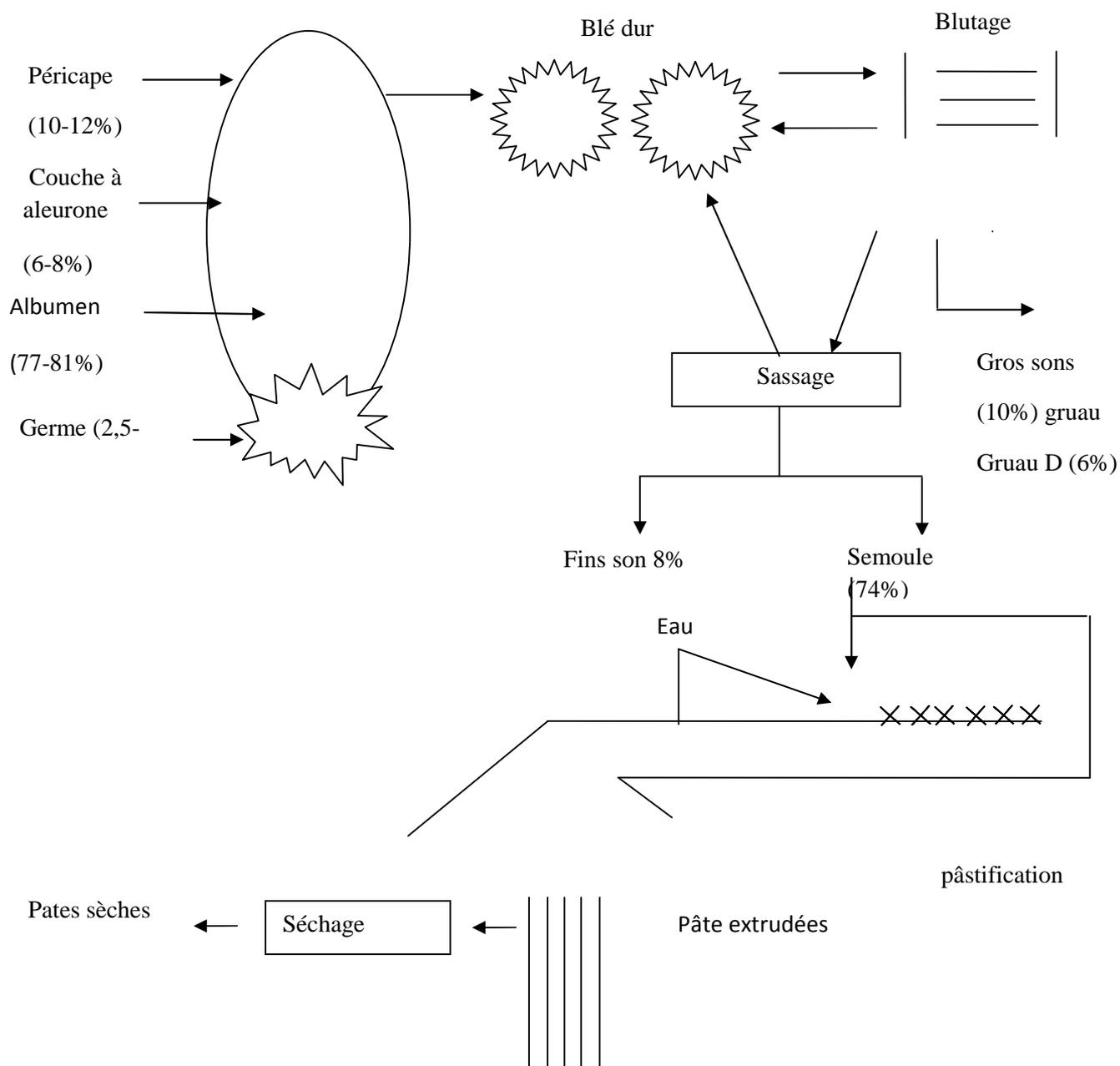


Figure 5 schéma de fabrication des pâtes alimentaires à partir du grain de blé dur (Godon, 1997).

- De la composante brune due à la présence d'un complexe protéine-cuivre influençant négativement l'aspect visuel de la semoule (fonction de la variété),
- Des conditions de mouture des grains : l'élimination plus ou moins complète du germe, très riche en lipoxygénases, ainsi que la présence de particules d'enveloppes dégradent la couleur de la semoule et des pâtes alimentaires.
- La granulation des semoules intervient également : plus la semoule est fine, moins jaune elle apparaît.
- Des conditions de pastification : l'aération au cours de pétrissage agit négativement sur la composante jaune suite à l'activité de la lipoxygénase qui oxyde les pigments caroténoïdes. Il est donc conseillé de réaliser le malaxage sous vide.

4.6.2. La qualité culinaire

La qualité culinaire des pâtes alimentaires intègre l'ensemble des caractéristiques suivantes (Feillet, 2000) relatives aux temps de cuisson, au rendement en pâtes et à leur degré de désagrégation. Les caractères organoleptiques sont également pris en considération.

4.6.3. La qualité nutritionnelle

L'appréciation de la qualité nutritionnelle des pâtes alimentaires dépend de leur composition biochimique ; les éléments suivants doivent être pris en compte :

- Au cours de la cuisson, les pâtes absorbent près de trois fois leur poids d'eau et perdent de 6 à 10 % de matière sèche dans les eaux de cuisson.
- dans certains pays, les pâtes aux œufs sont les plus consommées, elles peuvent contenir cinq ou six œufs par kilogramme de semoules, ce qui modifie profondément leur valeur nutritionnelle (Feillet, 2000).

4.6.4. La qualité hygiénique

La qualité hygiénique des pâtes alimentaires, considérée comme excellente, ne pose pas de problème particulier, bien que les micro-organismes trouvent un milieu favorable à leur développement au cours du séchage. Généralement on rencontre des bactéries saprophytes, dont la présence ne constitue aucun danger ; dans quelques cas isolés, des organismes pathogènes, tels que des staphylocoques et des salmonelles ont cependant été détectés.

Les risques les plus importants d'altération des qualités hygiéniques des pâtes alimentaires existent dans les pâtes aux œufs en raison de possible contamination par les salmonelles. Des bons résultats acceptables ne sont obtenus qu'à la condition de respecter des conditions

strictes d'hygiène en cours de fabrication : c'est un facteur favorable à une diminution des contaminations microbiennes (Feillet, 2000).

4.7. Les défauts de séchage

Deux défauts sont classiquement répertoriés:

- ✓ Les gerçures.
- ✓ Le piquage
- ✓ Les moisissures.

4.7.1. Les gerçures

Ce défaut d'apparence a déjà été décrit précédemment.

Les gerçures apparent lorsque l'équilibre hydrique n'a pas eu le temps de s'établir au sein de la pâte. C'est généralement le cas lorsque le séchage à été conduit en atmosphère trop chaude et trop sèche, notamment dans la dernière phase de stabilisation.

Il est important de noter, en outre, qu'une pâte apparemment impeccable en sortie de refroidisseur peut gercer quelques heures plus tard, c'est ce qu'on dénomme la gerce différée. Ces pâtes gerçées en dehors du défaut d'aspect, se briseront en de multiples morceaux et auront une très mauvaise tenue à la cuisson (Bossu, 2005).

4.7.2. Le piquage

Le piquage des pâtes sèches se caractérise par l'apparition de points blancs, cela est généralement dû à un trop fort séchage.

L'humidité relative étant trop basse, l'eau contenue dans la pâte se vaporise chaque goutte vaporisée crée un mini bulle, qui apparaît ensuite sous la forme d'un point blanc.

Il ne faut pas confondre ce phénomène avec les points blancs qui se forment lors du malaxage par suite d'une mauvaise hydratation des grains de semoules (manque de vide générant des bulles d'air entre la semoule et l'eau) (Bossu, 2005).

4.7.3. Les moisissures

Les moisissures est la conséquence du séchage en ambiance trop humide avec température trop basse ; le séchage, dans ces conditions, est excessivement lent ce qui entraîne le développement des moisissures à la surface des pâtes : léger duvet constitué de colonies grisâtres (*Penicillium glaucum*) ou blanches (*Penicillium album*) avec risque de production de mycotoxines ce qui rend les pâtes atteintes impropres à la consommation humaine et animales (Fourar, (2013).

Cette expérimentation a pour but de déterminer la qualité des blés durs réceptionnés par le complexe SOPI ainsi que celle des semoules et pâtes alimentaires issues. Dans cette optique, nous nous proposons de vous présenter succinctement le complexe et plus particulièrement la fabrique de pâtes alimentaires en vue de permettre une meilleure interprétation des résultats.

A- Présentation du lieu d'expérimentation, le complexe SOPI

I- Présentation du complexe SOPI

1.1. Présentation générale

SOPI est une société des pâtes industrielles située sous adresse du siège social : lot n° 13, route de Boufarik Guerrouaou à Blida. Cette société, dotée d'un matériel sophistiqué, a un capital social : 3314000000 DA, avec 345 employés. Le complexe couvre une superficie totale de 16000 m², son activité principale concernant le Semoulerie, la Minoterie et la fabrication de pâtes alimentaires et Couscous.

1.2. Présentation succincte de la semoulerie

A son arrivée au moulin, le grain doit être nettoyé avant d'être moulu. Généralement, il contient encore des morceaux de paille, des balles, des pierres, des insectes ou de la poussière. Toutes ces impuretés vont être enlevées grâce aux appareils de nettoyage dont le rôle est :

La séparation selon la dimension

Pour cette opération qui est la 1^{ère} opération de nettoyage, le séparateur à grain fonctionne selon le principe de triage par dimension au moyen de tamis et l'effet de séparateur par courant d'air (dépoussiérage avec raccordement de système d'aspiration centrale qui relie tout le système de nettoyage).

La séparation selon la propriété magnétique

Cette fonction est assurée par un aimant placé après le séparateur qui protège l'équipement contre une éventuelle détérioration par des éléments métalliques.

L'épierrage

Le blé dur quitte le séparateur comme refus de tamis à sable ; après avoir transité par le séparateur magnétique et le canal d'aspiration, il arrive sur le plan de travail de l'épierreur qui va séparer les pierres et les corps lourds des blés grâce au courant d'air ascendant.

Le triage

A SOPI cette fonction est assurée par l'intermédiaire de batterie de 4 trieurs, 2 trieurs principaux (TGR) et (TGL) et 2 trieurs secondaires (TGRR) et (TGRL). Cette opération est chargée d'éliminer les grains de forme et de dimensions différentes de celles du blé (grains ronds de mauvaises herbes, grains longs de céréales).

En complément des installations de triage, sont prévus des trieurs hélicoïdaux (toboggans) qui sont alimentés par le TGR dans le but de récupérer les grains cassés et les petits grains.

Après nettoyage, le blé sort débarrasser des impuretés de forme et densité différentes ; il est donc relativement propre mais le nettoyage n'est pas terminé : il reste encore à nettoyer le grain de blé lui même, c'est-à-dire le débarrasser des glumes qui lui sont encore attachées, éliminer la brosse et détruire toute forme d'insecte ou de larve apparent ou caché. Pour atteindre cet objectif, on fait appel a des machines connues sous le nom d'épouiseuse ; décortiqueuse.

Après l'achèvement du processus de nettoyage du blé dur, on réalise une opération particulièrement importante : c'est la conditionnement c'est-à-dire le traitement du grain par l'eau suivi d'un temps de repos dans les boisseaux. C'est ainsi que le 1^{ère} temps de repos de blé dur dans Sarl SOPI est de 4h alors que le second temps de repos est inférieure ou égale au premier temps de repos. Le seuil de conditionnement étant de 15,5%. L'appareil de conditionnement est automatique ce qui va permettre un conditionnement correct et régulier.

Après le nettoyage et le conditionnement, le blé est prêt à la mouture. En effet pour obtenir une semoule pure, les enveloppes du grain doivent être séparées de l'amande et éliminées.

On distingue 4 opérations fondamentales :

- ❖ Le broyage : c'est l'ensemble des appareils à cylindre qui comprend à SOPI 6 passages B1 à B6.
- ❖ Le désagrégage
- ❖ Le convertissage
- ❖ Le sassage

L'objectif du meunier est d'obtenir un rendement élevé en semoule de pureté appréciable.

1.3. Présentation succincte de l'unité pâtes alimentaires

Les pâtes alimentaires désignent des produits fabriqués à partir de semoule de blé dur et d'eau, qui se présentent sous différentes formes : pâtes courtes et pâtes longues.

La capacité de production de l'unité pâtes alimentaires SOPI est de 01 ligne de pâtes courtes à raison de 1,500 Kg/h et 01 ligne de pâtes longues à raison de 1,250Kg/h.

Fabrication des pâtes alimentaires

La fabrication des pâtes alimentaires suit les étapes suivantes :

1- Pétrissage

Cette opération est réalisée dans une presse composée de mélangeuse simple et mélangeuse double où est reçue la matière première qui est composé de la semoule et d'eau puis le mélange passe au tréfilage.

2-tréfilage

Il est constitué de visse de compression. Le tréfilage assure un dernier pétrissage qui confère à la pâte un aspect lisse et brillant.

3- laminage

La visse de pression provoque une montée en pression et entraîne simultanément la pâte dans le moule qui est serré dans la tête de filière, avec un moule permettant de fabriquer tous le format souhaité (spaghettis, macaroni, coudés).

4-Séchage

Le séchage consiste à éliminer l'excès d'eau des pâtes alimentaires, de 30-32 % jusqu'à 12.5%, l'opération devant être progressive. L'eau est éliminée par un séchoir, qui contient 5 ventilateurs (3 ventilateurs ont pour but d'extraire l'air et les deux autres éliminent l'humidité)

1ere séchage : cette opération se fait dans un appareil appelé trabatto. Le taux d'humidité des pâtes atteint 29%.

2eme pré séchage où le taux d'humidité des pâtes est alors de 15-19%.

3eme opération : le séchage définitif : pour permettre la stabilisation et le refroidissement des produits ; dans cette phase le taux d'humidité finale est 12,5%, c'est l'humidité idéale pour avoir une bonne conservation du produit fini. C'est également le taux maximal réglementaire par la législation.

5- conditionnement

Après le refroidissement du produit à une température de 25°C, les pâtes sèches passent par des cellules de stockage munies de tapis roulants sur lesquels celles-ci circulent lentement. Les pâtes sont acheminées vers des balances électroniques ou des remplisseuses volumétriques, puis elles sont réparties en portion vers les empaqueteuses automatiques ; les pâtes sont alors empaquetées dans de la cellophane.

B. Bilan qualitatif des blés réceptionnés par le complexe et des dérivés fabriqués

I.Objectif

Notre étude porte sur la détermination dans le temps de la qualité des quelques lots de blé dur et dérivés. Elle a été effectuée au niveau de Sarl SOPI, Société des Pâtes Industrielles (BLIDA), où nous avons suivi le procédé de transformation du blé dur en semoules et celui de la fabrication des pâtes alimentaires. Nous l'avons complétée par un contrôle qualitatif des grains et dérivés au niveau du laboratoire du complexe où nous avons effectué des analyses physico-chimiques, technologiques et microbiologiques. L'objectif était de suivre pendant quatre mois la qualité des blés réceptionnés par le complexe et celle des produits qui y sont fabriqués.

II. Matériel végétal

Nous avons étudié, sur une période de quatre mois, 5 lots distincts de blé dur orientés vers la mouture, de l'état « blé sale » aux semoules puis aux pâtes alimentaires.

L'origine du 1^{ère}, 4^{ème} et 5^{ème} lot est locale alors que les 2^{ème} et 3^{ème} lots sont des blés durs importés du Mexique.

III Echantillonnage et lieu de prélèvement

3.1. Echantillonnage:

L'échantillonnage est l'ensemble des opérations qui consistent à passer d'un lot initial à un échantillon de masse réduite à analyser au laboratoire.

L'échantillonnage des grains est effectué sur la base de méthode normalisée NA 737/1990 Céréales

➤ Principe :

Réduction progressive et correcte d'un échantillon représentatif du lot examinée, condition pour l'obtention de résultats permettant une interprétation justifiée.

➤ **Appareillage :**

Sondes.

Bocaux.

Appareil réducteur. Nous avons utilisé l'échantillonneur conique.

3.2. Lieu de prélèvement

• Blé dur

Les échantillons de blé dur ont été prélevés au niveau de la section réception du moulin, et après conditionnement (blé avant B1).

• Les semoules

Les semoules ont été prélevées au niveau de la sortie des lignes de production de la section mouture.

• Les pâtes alimentaires

Les échantillons ont été prélevés au niveau de la sortie des lignes de fabrication pâtes courtes et pâtes longues.

Nous nous sommes assuré que les semoules et pâtes alimentaires soumises à l'expérimentation étaient issues des blés testés.

IV. Analyses effectuées

4.1. Sur les grains

4.1.1. Masse à hectolitre suivant la méthode NA 1.1.61/1986

La masse à hectolitre correspond à la masse de céréales contenues dans un hectolitre rempli de grains, d'impuretés et d'air interstitiel.

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

➤ **Principe**

Au laboratoire, la masse à hectolitre est la masse de grains contenus dans un volume de un litre ou 250 ml ; l'opération peut être réalisée sur blé propre, débarrassé des impuretés diverses (matières inertes...) ou « sur blé sale », sans nettoyage préalable.

➤ **Matériel**

Nous avons utilisé le niléalitre qui comprend :

- Une Trémie conique,

- Une Cylindre mesureur de capacité un litre,
- Une Couteau araseur,
- Une Bascule romaine.

➤ **Méthode**

Deux déterminations par échantillon ont été effectuées après homogénéisation de l'échantillon d'analyse. Pour cela :

- Remplir de blé la trémie jusqu'à la limite, sans tasser les grains.
- Ouvrir le clapet de la trémie et laisser couler le blé dans le cylindre mesureur préalablement taré.
- Pousser le couteau déjà disposé dans la glissière de façon à araser la colonne de grains
- Enlever les grains en excès après avoir arasé
- Retirer la trémie cylindrique et le couteau araseur
- Peser immédiatement au gramme près les grains contenus dans le cylindre mesureur à l'aide de la bascule romaine.

➤ **Expression des résultats**

- Prendre comme résultats la moyenne arithmétique des 2 déterminations si la répétabilité est bonne (écart entre les 2 résultats $\leq 2g$).
- Se référer au tableau des concordances fourni avec le nilémalitre, afin de déterminer les résultats en kg/ hl.

4.1.2. Détermination des impuretés

Le terme impureté correspond à l'ensemble des éléments d'un échantillon qui ne sont pas des grains de blé de qualité irréprochable.

➤ **But**

Le but de cette analyse est la détermination du taux et de la nature des impuretés contenues dans un lot de blé destiné à la semoulerie ; elle a été effectuée sur la base d'une méthode normalisée qui porte la référence NA 1.1.78.1990.

➤ **Principe**

Séparation, classement et pesage des impuretés de différentes catégories contenus dans l'échantillon pour essai.

➤ **Appareillage**

- Balance précise à 0.01 g près,
- Une table de travail plane et lisse,
- Une loupe binoculaire,
- Un pinceau,
- Une pince brucelle.
- Des coupelles

➤ **Mode opératoire**

- Mélanger l'échantillon pour laboratoire pour le rendre homogène,
- Peser environ 100g, à 0.01g près,
- Séparer les différentes catégories d'impuretés en les disposant dans les coupelles, puis peser chaque fraction à 0.01 g près.

➤ **Expression des résultats**

$$A = (m_1 \times 100) / m_0$$

Où :

m_0 : la prise d'essai

m_1 : masse de la catégorie d'impuretés

➤ **Répétabilité**

La différence entre les résultats des deux déterminations, effectuées l'une après l'autre par le même analyste, ne doit pas dépasser 10g d'impuretés totales pour 100g d'échantillon.

4.1.3. Poids de milles grains (PMG) suivant la méthode NA731/1990

C'est un critère essentiellement variétal qui dépend des conditions de culture. Le PMG est la détermination en grammes de la masse de 1000 grains entiers. Nous avons réalisé l'analyse grâce à un compteur automatique de grains « Numigral ».

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

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

où

M_H est la masse de 1000 grains tels quels.

H est la teneur en eau des grains.

➤ Répétabilité :

La différence entre les résultats de deux essais doit être inférieure à 6 % de la moyenne.

4.1.4. Taux de mitadinage suivant la méthode pratique

Le mitadinage est un accident physiologique fréquent qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain. Les grains de blé mitadinés présentent des zones farineuses et opaques dans un ensemble vitreux alors que les grains normaux apparaissent totalement vitreux et translucides. Ce taux représente le pourcentage en nombre de grains de blé dur reconnus non entièrement vitreux.

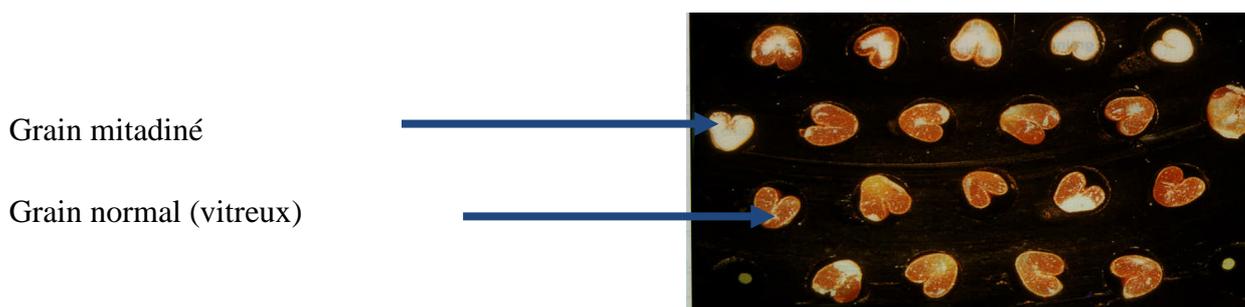


Figure 6 Coupe transversale des grains par le farinotome de Pohl (Compan *et al.*, 2009)

➤ Principe

La détermination est faite sur 600 grains au moins par comptage des grains mitadinés après coupe transversale à l'aide d'un coupe grain, le farinotome de Pohl.

➤ Appareillage

Le farinotome de Pohl se compose du coupe grain proprement dit muni de 50 alvéoles pouvant recueillir les grains, d'un couteau et d'un couvercle pour maintenir les grains lors de

la coupe. Il comprend également une plaque en ébonite noire, comportant 50 alvéoles, que l'on peut introduire puis retirer du coupe grain en vue de compter les grains effectivement mitadinés

➤ **Mode opératoire**

Deux déterminations sont effectuées sur le même échantillon pour essai.

On prélève environ 100 g pesés à 0,01 g près de l'échantillon pour laboratoire à l'aide d'un diviseur d'échantillon ; on élimine les impuretés par tamisage et triage à la main.

Après introduction de la plaque en ébonite dans le coupe grain, on verse une poignée de grain sur la grille alvéolée que l'on secoue de façon que chaque alvéole renferme un grain ; rabattre le couvercle pour maintenir les grains et les couper à l'aide du couteau puis retirer la plaque avec précaution ; dénombrer les grains mitadinés.

➤ **Expression de résultats:**

Le taux de mitadinage de l'échantillon examiné est donné par la formule suivante:

$$N = (n / p) \times 100$$

où

n est le nombre de grains mitadinés.

P est le nombre de grains coupés.

4.1.5. Détermination de la teneur en eau

La détermination de la teneur en eau est effectuée selon la méthode normalisée « céréales et produit céréaliers méthode de référence pratique NA 1132-1990 ».

➤ **Principe**

Séchage du produit à une température comprise entre 130 °c et 133 °c à pression atmosphérique normale après broyage du produit.

➤ **Matériels**

- Broyeur,
- Balance analytique.
- Capsules métalliques munies de couvercle
- Etuve isotherme.
- Dessiccateur.

➤ Mode opératoire

- Sécher les capsules avec leur couvercle à l'étuve pendant 15 min à 130°C, puis les refroidir dans un dessiccateur jusqu'à la température ambiante durant 30 à 45mn.
- Peser une capsule à 0,001g près puis la tarer, couvercle compris.
- Fermer le couvercle après chaque pesée et mettre les capsules au fur et à mesure dans le dessiccateur
- Peser rapidement dans la capsule à 1mg près une quantité de l'ordre de 5g de l'échantillon.
- Introduire les capsules ouvertes dans l'étuve, le couvercle mis en dessous des capsules
- Mettre en marche la minuterie, 2h pour les grains de blé et 1 h 30 pour la semoule fine.
- Retirer rapidement les capsules de l'étuve et les couvrir immédiatement ; les laisser refroidir dans le dessiccateur jusqu'à atteindre la température ambiante.
- Peser les capsules à 1mg près.

Remarque :

Dans le cas des semoules grosses et des pâtes alimentaires, elles doivent subir un broyage avant étuvage

Expression des résultats

La teneur en eau exprimée en pourcentage en masse du produit tel quel est donnée par la formule:

$$H\% = (M_0 - M_1) \frac{100}{M_0}$$

où

M_0 est la masse en gramme de la prise d'essai.

M_1 est la masse en gramme de la prise d'essai après séchage.

La répétabilité qui est relative à différence entre les résultats des deux déterminations, effectuées simultanément ou rapidement l'une après l'autre par la même analyse, ne doit pas excéder 0.15 g d'eau pour 100g d'échantillon.

4.1.6. Le taux de cendres

Nous avons appliqué la méthode normalisée NA 733/1990.

➤ Principe

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

➤ Matériels et réactif

- Four à moufle réglable à la température de 900°C +/- 25°C,
- Broyeur pour grains,
- Balance analytique,
- Nacelles à incinération,
- Canne pyrométrique,
- Dessiccateur à robinet contenant un agent déshydratant,
- Pince en acier inoxydable,
- Réactif : éthanol solution à 95%.

➤ Mode opératoire

Peser dans une nacelle préalablement tarée à 10 mg près 5 gr du produit semoule ou blé. Répartir la matière en une couche d'épaisseur uniforme sans la tasser.

Humecter la prise d'essai de quelques gouttes d'éthanol afin d'obtenir une incinération uniforme et l'enflammer pour éviter l'auto-allumage et donc les projections de matière.

Placer les nacelles et leur contenu à l'entrée du four préalablement chauffé à 900°C +/-25°C. Dès que le contenu des nacelles a fini de flamber, introduire les nacelles à l'intérieur du four à l'aide d'une pince en prenant soin de ne pas toucher le contenu des nacelles. Fermer la porte du four et poursuivre l'incinération 1 h 15mn à 1h 30 mn jusqu'à la disparation des particules charbonneuses. Retirer les nacelles du four et les déposer 1mn sur un support thermorésistant puis dans un dessiccateur jusqu'à refroidissement à température ambiante. Peser rapidement chaque nacelle afin qu'elle n'absorbe pas l'humidité de l'atmosphère.

➤ Expression des résultats

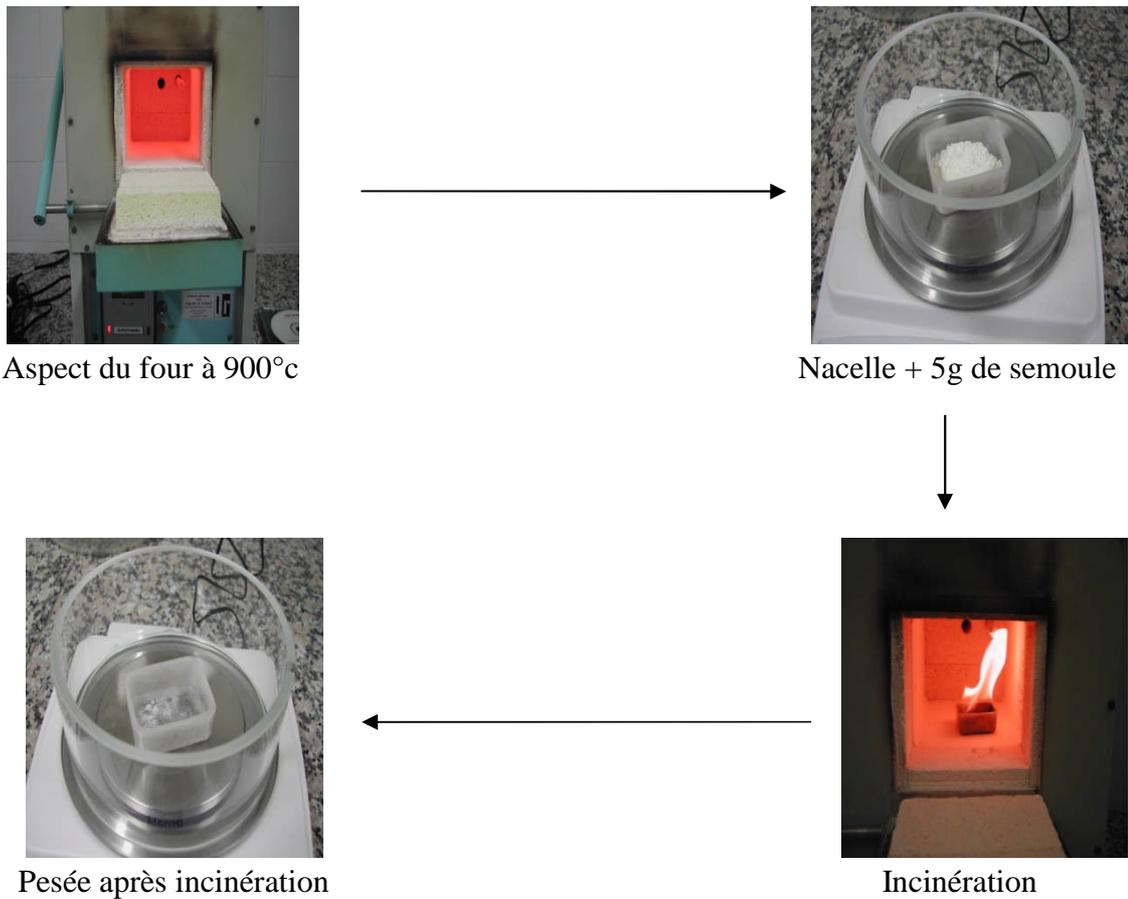


Figure 7 Quelques étapes de détermination le taux de cendres

➤ Expression des résultats

Le taux de cendres (TC) exprimé en % en masse rapporté à la matière sèche, est égal à

$$TC \% = m_1 \times \frac{100}{m_0} \times \frac{100}{100-H}$$

Où

m_0 est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

m_1 est la masse, en grammes, du résidu.

H est la teneur en eau exprimée en % en masse de l'échantillon pour essai.

➤ Répétabilité

La différence entre les résultats de deux déterminations effectuées simultanément ou rapidement l'une après l'autre par le même analyste, ne doit pas dépasser :

0,02 (en valeur absolue) pour des taux de cendres inférieurs à 1%.

2% de la valeur moyenne pour des taux de cendres supérieurs à 1%.

4.1.7. Dosage des protéines

La teneur en protéines est déterminée par la méthode rapide à l'aide de l'infratec.

On a appliqué le mode opératoire inclus dans la notice technique de l'appareil. L'utilisation est simple :

Les grains et les semoules sont versés tels quels alors que les pâtes alimentaires nécessitent un broyage préalable.

Cet appareil, pratique pour l'industrie doit cependant, être étalonné périodiquement par référence à la méthode classique Kjeldhal de dosage de l'azote pour s'assurer de la justesse des résultats.

4.2. Sur les semoules:

Outre les méthodes précédemment décrites relatives au dosage de l'eau, des cendres et des protéines, nous avons effectué :

4.2.1. La granulométrie (taux d'affleurement)

➤ Principe

La granulométrie des semoules correspond à un classement dimensionnel des particules selon leur taille en utilisant un sasseur de type « Buhler » avec des tamis mobiles dont les ouvertures des mailles sont respectivement les suivantes (de haut en bas):

710µm, 630µm, 500 µm, 450µm, 355µm, 250µm, 160µm.

Le calibrage des particules de semoules est très important pour l'hydratation des semoules car la capacité de ces dernières 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

- Peser 100g de l'échantillon à analyser (semoule de blé).
- Déposer la prise d'essai sur le tamis supérieur.

- Placer les tamis sur un appareil qui exerce des mouvements circulaires vibratoires uniformes et dont la vitesse est de 70 tr/mn pendant 10 mn.
- Peser le refus de chaque tamis.

4.2.2. Détermination des indices de coloration des semoules

Il s'agit d'apprécier la couleur de la semoule qui se caractérise par deux composantes, l'indice de brun et l'indice de jaune à l'aide d'un spectrophotomètre. Cette analyse a été réalisée au laboratoire technologique de l'ITGC, Alger.

➤ **But**

L'intérêt de la mesure est essentiellement commercial, car le consommateur cherche des pâtes claires de belle couleur jaune ambrée : plus l'indice de jaune est élevé, plus les pâtes sont jaunes et par conséquent elles sont attractives et de qualité commerciale élevée.

➤ **Appareillage**

Nous avons utilisé le spectrophotomètre Hunterlab (géométrie O 145, illuminant D65, angle d'observation 10°, longueur d'onde 293nm). Ces conditions sont celles retenues par la Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E).

➤ **Mode opératoire**

Mettre environ 50g de semoule dans une boîte de pétri et bien l'homogénéiser ; placer l'échantillon sous la source lumineuse puis appuyer sur le bouton <<measure>> ; dix mesures successives sont effectuées en tournant l'échantillon d'un quart de tour avant chaque lecture de manière à limiter les effets dus à l'hétérogénéité de la réflexion sur une surface non homogène.

Les résultats sont exprimés dans le système **L, b** dans les conditions retenus par la Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E)

$$\begin{aligned} I .B &= 100-L \\ I .j &= b \end{aligned}$$

L'indice **b** est d'autant plus élevé que la semoule est plus jaune ;

La valeur (**100-L**) augmente avec le brunissement.

4.2.3. La teneur en gluten

L'extraction du gluten est effectuée suivant la méthode normalisée NA 735-1990.

➤ Principe

Il consiste à procéder à la lixiviation puis au lavage d'un pâton constitué de 10 g de semoule et d'une solution de NaCl jusqu'à l'obtention d'une substance plasto-élastique qui, essorée puis pesée, constitue le gluten d'humide.

➤ Matériel

Essoreuse centrifugeuse,

Plaque chauffante (appareil de séchage),

Balance précise à 0,01 g près,

Mortier,

Spatule,

Burette graduée de 10 ml.

➤ Mode opératoire

Préparation du pâton:

Peser dans un mortier 10g de semoule et verser 5,5 ml de solution NaCl à 2% ; former à l'aide d'une spatule une boule de pâte.

Prendre soin de ne laisser aucune particule de pâte sur la spatule et dans le mortier.

Cette opération doit se faire minutieusement afin d'éviter les pertes de semoule.

Extraction manuelle:

- Placer le pâton dans la paume de la main gauche et le malaxer à l'aide du pouce de la main droite sous une burette contenant une solution de NaCl à 2% et dont le débit doit être goutte à goutte "sans qu'on puisse compter les gouttes" : c'est la lixiviation.

L'opération est poursuivie jusqu'à ce que la solution devienne claire ; augmenter alors le débit de la solution NaCl et rincer le gluten tout en malaxant sous un filet continu de la solution : c'est le lavage.

Cette opération s'effectue au-dessus d'un tamis à fines mailles afin de pouvoir récupérer les particules qui tombent.



Figure 08 Quelques étapes de l'extraction du gluten (Roussel *et al.* 2002)

La teneur en gluten humide (GH)

Après essorage la masse plastique constitue le gluten humide dont la teneur est exprimée en % de matière humide.

La teneur en gluten sec (GS)

Le gluten sec est obtenu par séchage à 160°C du gluten humide dans une plaque chauffante (glutork) durant 4 mn jusqu'à l'élimination totale de l'eau ; puis on pèse le gluten sec obtenu. La teneur en gluten sec est exprimée en % de matière sèche.



Figure 09 Gluten sec après séchage au glutork (original)

➤ **Expression des résultats**

✓ **Gluten humide :**

La teneur en gluten humide (%) : $GH = M_1 \times 10$

M_1 : masse du gluten humide (g) dans la prise d'essai.

✓ **Gluten sec :**

La teneur en gluten sec (%) : $GS = M_2 \times 10$

M₂ : masse du gluten sec (g) dans la prise d'essai. .

- ✓ **La capacité d'hydratation** : C'est la capacité du gluten à retenir l'eau, facteur de qualité des semoules et farines ; il est exprimé en % et il est donné par la relation:

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

où

GH est le gluten humide.

GS est le gluten sec

4.2.4. Essai au mixographe

Le mixographe est un appareil qui permet de tester la force d'une semoule et d'enregistrer la tolérance de la pâte au cours du mixage. Ce test à été réalisé selon la méthode normalisée AACC 54-40A au niveau du laboratoire de technologie céréalière de l'ITGC.

➤ Mode opératoire

Une quantité de 10 g de semoule est hydratée en fonction de sa teneur en protéines (selon les valeurs données par la norme donnée en annexe 06). Le malaxage s'effectue dans le bol du mixographe par le biais de deux tiges ; on place le papier qui enregistre le mixogramme, l'enregistrement se faisant pendant 6 minutes ; les paramètres à étudier sont :

- Le temps de développement : il caractérise la force de la pâte
- La hauteur de la pente : ce critère, également, permet de classer les semoules suivant leur valeur pastière.
- Le degré d'affaiblissement qui correspond à la tolérance de la pâte au sur pétrissage.

4.3. Sur les pâtes alimentaires

4.3.1. Analyses physico-chimique des pâtes alimentaires

Nous avons effectué le dosage de l'eau et des cendres suivant les méthodes normalisés précédemment décrites. D'autres testes, spécifiques, ont été également effectués :

4.3.2. Essai de cuisson des pâtes alimentaires : suivant la méthode officielle du JORA N°66 du 6-9-1998

L'une des principales caractéristiques des pâtes alimentaires est la tenue à la cuisson qui est un facteur de qualité culinaire.

La méthode pratique de détermination de l'essai de cuisson des pâtes utilisées est appliquée par la semoulerie industrielle de Blida (SOPI).

➤ **But**

Le but de cet essai est de connaître la qualité culinaire des pâtes alimentaires.

➤ **Principe**

Détermination d'un temps minimal de cuisson de deux durées expérimentales de cuisson, de la capacité d'hydratation des pâtes alimentaires et des pertes à la cuisson.

Matériel

Plaques chauffantes,

Casserole,

Eau,

Chlorure de sodium,

Plaquettes en verre d'écrasement,

Une louche,

Spatule,

Balance précise à 0,01 g près,

Minuterie.

➤ **Mode opératoire**

Mettre 2 L d'eau dans une casserole, puis ajouter 14g de chlorure de sodium. Porter à l'ébullition.

Verser 100 g de pâtes dans l'eau bouillante, puis agiter doucement avec la spatule au début de la cuisson. Il ne faut pas couvrir la casserole.

Deux minutes avant le temps minimal de cuisson (estimé à priori d'après le format de la pâte), prélever un brin de pâtes et l'écraser à l'aide de la plaquette d'écrasement. Répéter la même opération toutes les 30 secondes jusqu'à disparition de la ligne blanche continue visible au centre du brin écrasé, et noter le temps minimal de cuisson T (la ligne blanche devient discontinue). Au temps $T1 = T + 1$ (mn), verser le contenu de la casserole sur une passoire, laisser égoutter 15 secondes à partir du moment où les pâtes sont sur la passoire. Après égouttage, les pâtes cuites sont pesées.

Refaire toutes les opérations réalisées lors de la cuisson normale en prolongeant de 10 minutes le temps T1 soit $T2 = T + 11$ mn.

Les pertes à la cuisson (PC) représentent la quantité de matière sèche perdue par 100g de pâtes crues durant la cuisson. Après homogénéisation de l'eau de cuisson, 25 ml sont prélevés et mis à sécher pendant 24 heures à 120°C.

On calcule les pertes à la cuisson à partir de l'équation:

$$PC = p \times 4$$

Où :

P est la masse de l'extrait sec dans la prise d'essai

4.4. Les analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques visent le contrôle des aliments du point de vue de la présence ou l'absence des micro-organismes. Elles consistent à isoler les micro-organismes du substrat, à les mettre en suspension dans un diluant puis à les disposer dans un milieu nutritif et dans des conditions favorables de développement (humidité et température).

Dans le cas des céréales, les micro-organismes recherchés sont surtout les Moisissures et le *Clostridium Sulfuto-Réducteur*.

Dans les laboratoires de contrôle de qualité, les analyses microbiologiques se réalisent en 3 étapes fondamentales:

- La préparation des suspensions mères.

- La préparation des dilutions.
- La recherche et le dénombrement des germes.

4.4.1. Analyse mycologique

a. Préparation des suspensions mères

Pour préparer une suspension mère, nous procédons comme suit:

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

b. Préparation des dilutions

La technique de dilution s'effectue aseptiquement avec un maximum de précision. La préparation des dilutions décimales est réalisée comme suit:

- Préparer une série de tubes contenant chacun 9 ml d'eau physiologique stérile
- Y introduire 1 ml de solution mère : on obtiendra donc une dilution de 1/10.
- Prélever ensuite 1ml de dilution 1/10 et la disposer dans un 2^{ème} 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.

c. Recherche et dénombrement des Moisissures suivant la méthode NA.758/1990

Les moisissures sont des champignons filamenteux, aérobies, acidophiles (Ph= 3 à 7) et mésophiles, se développant sur les aliments à faible activité d'eau.

➤ Principe

Le principe repose sur l'emploi d'un milieu de culture solide « O.G.A » rendu sélectif par acidification et par addition d'un antibiotique qui est l'oxytétracycline.

➤ Mode opératoire

Préparation du milieu

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

Ensemencement

- La technique d'ensemencement est en surface c'est -à- dire que 4 gouttes de chaque dilution 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , sont mises sur la surface du milieu solide OGA (Voir figure 10).
- Etaler à l'aide d'un râteau en verre stérile pour chacune des boites.
 - Deux autres boites de pétri sont considérées comme témoin de OGA

Incubation

- Incubation de ces boites à 20-25°C pendant 5 jours.

➤ **Lecture**

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

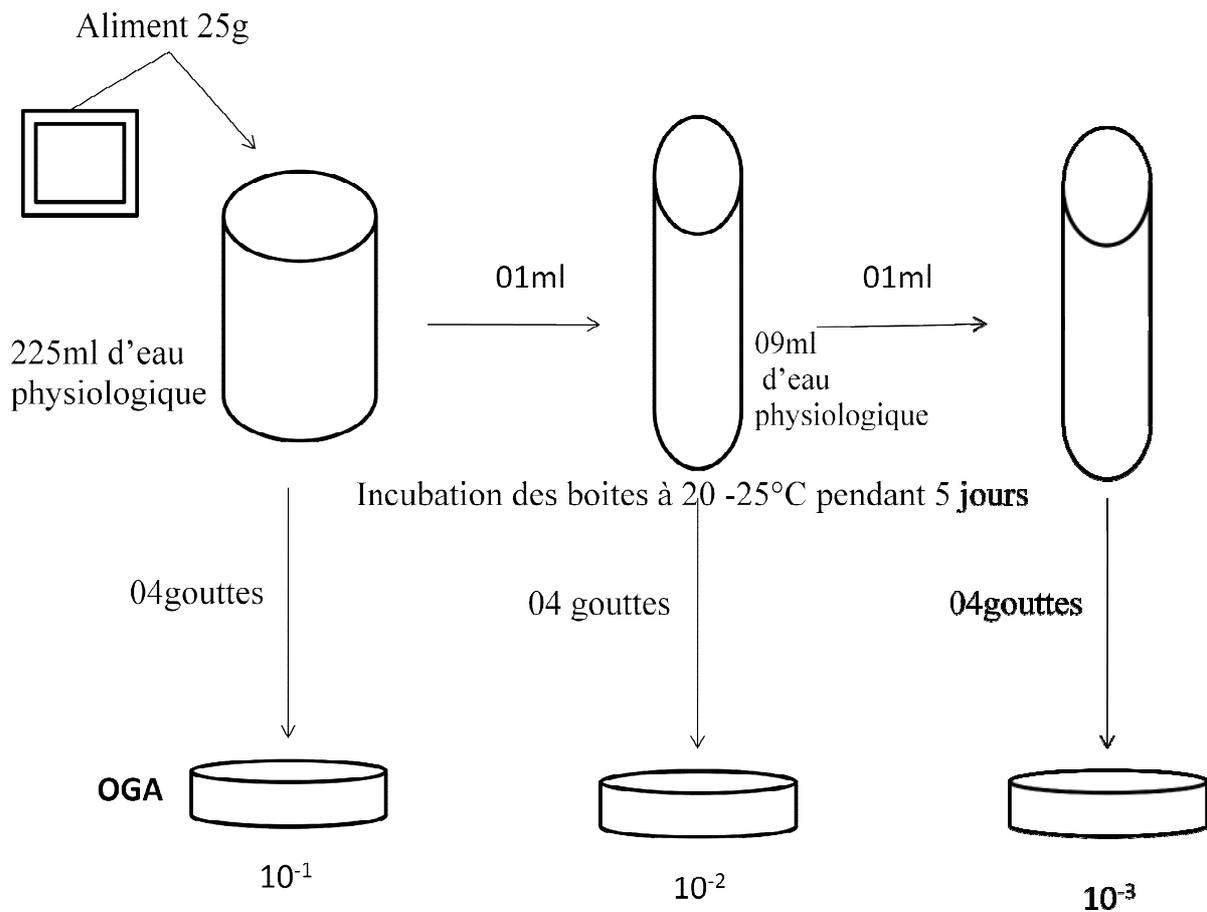


figure 10 Recherche et dénombrement des Moisissures (Original)

4.4.2. Recherche des spores de *Clostridium Sulfite-Réducteur*: suivant la Norme AFNOR V08-019.

Les *Clostridium* appartiennent à la famille des Clostridiaceae ; ce sont des Gram positif, anaérobis stricts, ils sporulent groupés en chaînettes, mobiles ou non (par ciliature péritriche) et ils sont très résistants de fait qu'ils sporulent.

Le *Clostridium Sulfite-Réducteur* est un bacille, d'une longueur de 3 à 4µm et d'une largeur de 1 µm, isolé ou en courtes chainettes, immobile, capsulé, sporulé (spores de grande taille, ovales, centrales ou subterminales) ; la culture se fait sur gélose au sang de mouton réalisée en anaérobiose.

On les appelle Sulfite-réducteurs car ils sont capables de réduire le sulfite en sulfure.

➤ Principe

Le *Clostridium Sulfite-Réducteur* est mis en évidence en utilisant la gélose viande foie (VF) au quelle on ajoute le Sulfite de sodium (milieu sélectif des *Clostridium*s qui réduisent les sulfites en sulfures) et l'alun de fer qui permet la formation d'un complexe noir entre le fer et le sulfure réduit par les *Clostridium*s.

➤ Mode opératoire

Préparation du milieu:

- Fondre un flacon de gélose de VF, le refroidir dans un bain d'eau à 45°C et ajouter une ampoule d'Alun de fer et une ampoule de sulfite de Sodium.
- Mélanger soigneusement et aseptiquement.

Le milieu est ainsi prêt à l'emploi, mais il faut le maintenir dans une étuve à 45°C jusqu'au moment de l'utilisation.

Ensemencement:

Les tubes contenant les dilutions 10^{-2} et 10^{-1} seront soumis d'abord à un chauffage à 80°C pendant 8 à 10mn puis à un refroidissement immédiat sous l'eau du robinet, dans le but d'éliminer les formes végétatives et garder uniquement les formes sporulées.

A partir de ces dilutions, porter aseptiquement 1ml de chaque dilution en double dans deux tubes à vis stériles de 16mm de diamètre puis ajouter environ 15 ml de gélose VF prête à l'emploi, dans chaque tube (Voir figure 11). Laisser solidifier sur paillasse pendant 30mn.

Incubation

Incuber les tubes à 37°C pendant 16, 24 ou au plus tard 48 h.

Lecture

La première lecture doit se faire impérativement après 16 h d'incubation, car:

- Les colonies de *Clostridium Sulfito-Réducteurs* sont envahissantes auquel cas on se trouverait en face d'un tube complètement noir rendant alors l'interprétation difficile voire impossible : l'analyse est à refaire.
- Il faut absolument repérer toute colonie noire ayant poussé en masse et d'un diamètre supérieur à 0,5 mm.

Dans le cas où il n'y a pas de colonie caractéristique, ré-incuber les tubes et effectuer une deuxième lecture au bout de 24 h voire 48 h.

4.5. Analyses statistiques des résultats

L'interprétation des données a été réalisée à l'aide du logiciel : STATISTICA.

L'analyse de la variance permet de déterminer l'influence du facteur étudié sur les différents paramètres étudiés, suivant le niveau de significativité :

- **P < 0,001** la différence entre les traitements est très hautement significative (noté THS)
- **P < 0,01** la différence entre les traitements est hautement significative (noté HS)
- **P < 0,05** la différence entre les traitements est significative (noté S)
- **P > 0,05** la différence entre les traitements est non significative (NS)

Si cette analyse révèle des différences significatives entre les traitements, une comparaison des moyennes est faite à l'aide du test de Newman et Keuls qui permet de faire un classement des valeurs au seuil de 5%.

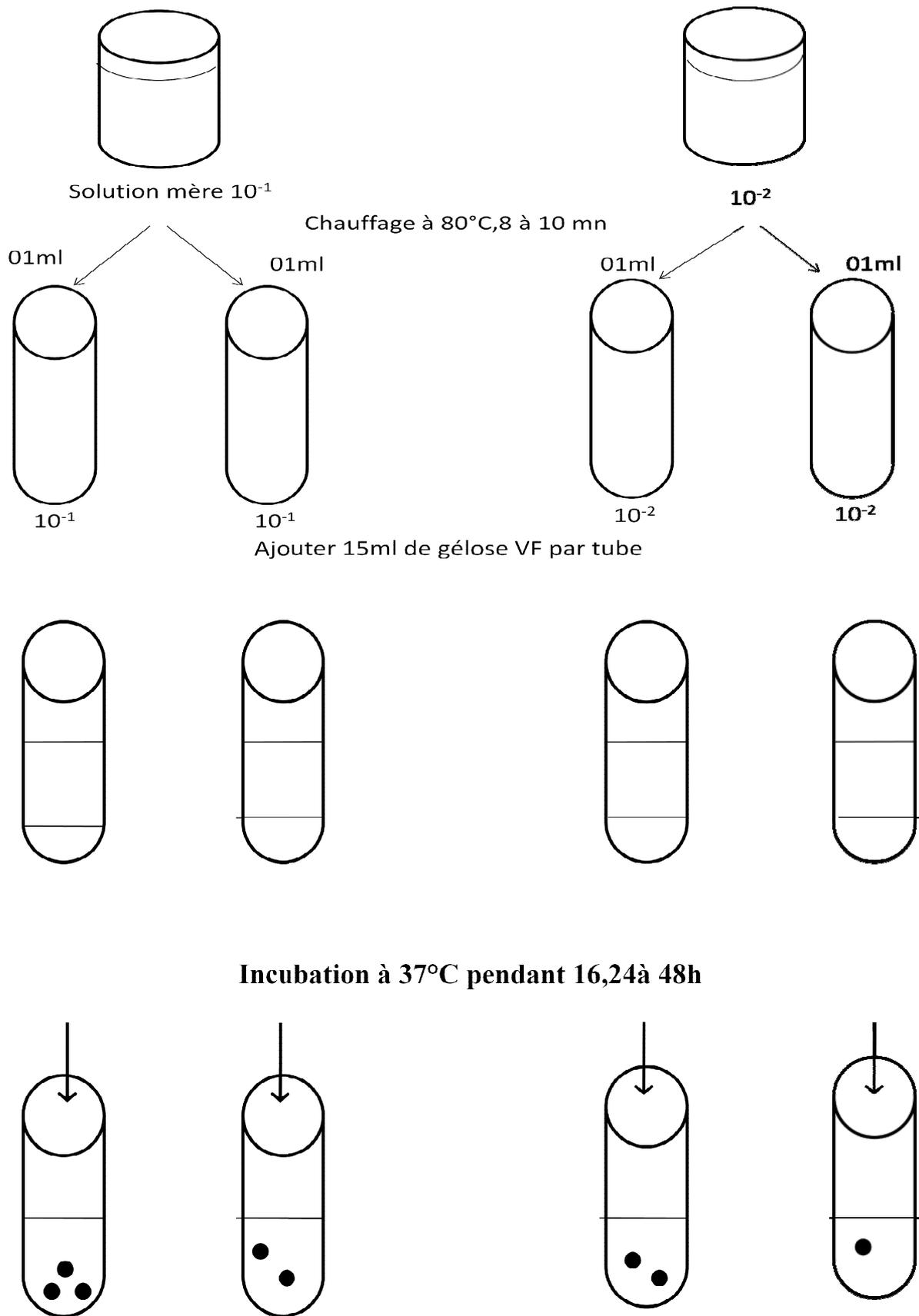


Figure 11 Recherche des spores de *clostridium sulfito-réducteurs* (original)

I. Paramètres physico-chimiques des lots de blé dur

Ce sont des paramètres spécifiques aux lots de blé dur qui dépendent du facteur génétique mais également des conditions de culture.

1.1. Teneur en eau des grains

Les résultats relatifs à la teneur en eau des grains sont inclus dans le tableau 7.

Il est connu que la teneur en eau des grains est fonction des conditions de récolte puis de stockage.

D'une façon générale, La teneur en eau est fonction des conditions de stockage pour le grain et du conditionnement et de la transformation pour les semoules de blé dur.

Les blés que nous avons réceptionnés présentent une teneur en eau très basse comprise entre 8,35 et 9,15%, ce qui montre que ces blés ont une aptitude au stockage élevé et qu'ils ont été stockés dans de bonnes conditions. Cette siccité est très intéressante pour le meunier car la quantité d'eau à ajouter aux grains lors du conditionnement sera élevée d'où rendement semoulier important.

Tableau 07 Paramètres physico-chimiques des lots de blé dur

Paramètres Facteur lot	Teneur en eau (%)	"PS" moyenne (Kg/hl)	PMG moyenne (g)	Mitadinage %
BD1 (local)	9,12 a	78,4 b	43,07 a	28,5 a
BD2 (mexicain)	8,50 b	83 ,2 a	42,90 a	8,47 d
BD3 (mexicain)	8,35 b	83,60 a	43 ,15 a	12,4 c
BD 4 (local)	8,70 ab	84 a	41,97 b	19 b
BD 5 (local)	8,90 ab	77,50 b	40,79 c	17,5 b
Moyenne	8,71	81,34	42,38	17,17
Ecart type	0,30	3,40	1,04	7,58
Probabilité	0,025607	0,004251	0,000168	0,000015
Signifi.stat	S	HS	THS	THS

Dans la même colonne, les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différentes (test Newman et Keuls à P= 0,05).

1.2. La masse à l'hectolitre ou « PS »

Les valeurs moyennes des poids spécifiques des différents échantillons sont regroupées dans le tableau 08. D'après Scotti et Mont. (1997) et Jeantet et al. (2007), le PHL du blé dur varie entre 75 et 85 kg/hl. Cette mesure très ancienne est utilisée pour avoir une idée de la valeur semoulière. Le rendement semoulier est un caractère économique important dans la mesure où il permet de mesurer l'aptitude d'un lot de blé dur à la première transformation.

D'une façon générale, les lots de blé dur que nous avons testés présentent un "PS". Différent à un niveau hautement significatif les blés durs 4, 3 et 2 constituant un groupe homogène de "PS" très élevé suivi du groupe blé dur 1 et 5 de "PS" appréciable. En effet, les valeurs du poids spécifique comprises entre 78,4 et 84 kg / hl, sont supérieures au seuil minimal prévu par la législation céréalière nationale soit 74 kg / hl : le rendement de ces blés pourrait donc être élevé.

Le tableau 08 montre que les valeurs du poids spécifique comprises entre 78,4 et 84 kg / hl, sont supérieures au seuil minimal prévu par la législation céréalière nationale soit 74 kg / hl : le rendement de ces blés pourrait donc être élevé.

Avec le même diagramme de mouture, il ressort une variabilité importante du taux d'extraction. Ainsi le tableau 8 indique un taux d'extraction compris entre 69,6 % et 78,6 % ce qui montre que la relation « PS »-rendement n'est pas toujours vérifiée (Fig.12)

Tableau 08 Masse à l'hectolitre et PMG des blés et taux d'extraction des semoules issues

Les échantillons	Poids spécifique (kg /hl)	Poids de 1000 Grains (g)	Rendement ou taux d'extraction réalisé /moulin (%)
BD 1 (local)	78,4	43,07	78,58
BD 2 (mexicain)	83 ,2	42,90	71,22
BD 3 (mexicain)	83,60	43 ,15	78,32
BD 4 (local)	84	41,97	75,88
BD 5 (local)	77,50	40,79	69,57
Moyenne	81,34	42,38	74,71
Signif.stat	HS	THS	
Ecart type	3,40	1,04	4,12

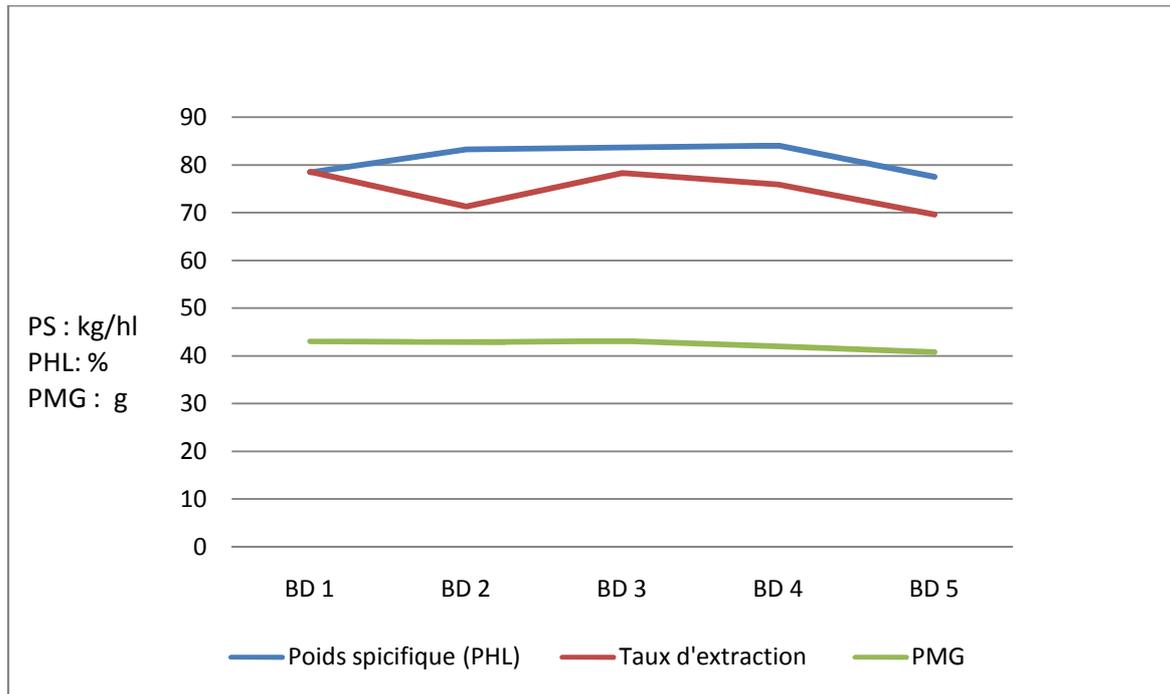


Figure 12 Poids spécifique, taux d'extraction et la masse de 1000 grains des échantillons étudiés

1. 3. La masse de 1000 grains ou PMG

Les valeurs moyennes de la masse de 1000 grains des différents échantillons sont regroupées dans le tableau (07).

Le PMG est un paramètre physique qui renseigne sur la dimension des grains, c'est par conséquent, un bon indicateur du rendement agronomique, du rendement semoulier ainsi que des problèmes rencontrés par la plante lors de son développement (Mahaut, 1996).

L'analyse statistique de la variance du PMG montre l'effet très hautement significatif du facteur blé sur ce caractère ; 3 groupes ressortent : le premier comprend les blés à PMG assez élevé (1, 2, et 3), les deux suivants présentent les blés à PMG moyen (blé dur 4 suivi du blé dur 5).

Selon Masse et Viaux (1983) et Rousset (1986), ces différences de fluctuations pourraient provenir d'une part, du caractère variétal du poids de mille grains (PMG) et d'autre part, des conditions environnementales dans lesquelles ont évolué les blés étudiés. Abdellaoui (2008) a montré que le PMG est corrélé positivement avec les doses d'azote.

La taille et le poids des grains sont considérés comme des facteurs importants dans la détermination de la valeur semoulière des blés durs. En effet, selon Lempereur *et al.* (1997),

les variétés à gros grains donnent de meilleurs rendements en semoule que les variétés à petits grains. De même pour Simmons et Meredith (1979), qui confirment que la taille des grains semble être un bon indicateur du potentiel semoulier. La figure 12 montre que nos résultats confirment ces données à l'exception de l'échantillon 2 dont le taux d'extraction est faible par rapport au PMG qui est élevé.

1.4. Taux de mitadinage

Selon le règlement communautaire algérien n° 824/2000 du 19 avril 2000, un grain mitadiné est un grain dont l'amande ne peut être considérée comme pleinement vitreuse ; il déprécie la qualité des semoules et des produits dérivés du fait qu'il est directement lié à la quantité de protéines contenues dans le grain.

C'est un caractère qui dépend des facteurs génétiques (Matvef, 1963 ; Grignac, 1978), son importance étant également fonction de la disponibilité en azote du sol pour la plante. Si au cours du remplissage du grain, la matière protéique se trouve en quantité suffisante, l'albumen prendra un aspect vitreux, en revanche, dans le cas d'une carence protéique cela conduirait à la formation de nombreuses vacuoles d'air au sein de l'albumen, lui conférant une apparence opaque ou farineuse (Matveef, 1963) qui aboutirait à une diminution du rendement semoulier par accroissement de la production de la farine.

Sur le plan technologique, les blés durs mitadinés entraînent une baisse du rendement semoulier. Leur amande étant plus friable que celle d'un blé vitreux, ils ont tendance à se désagréger en farine au lieu d'éclater en semoule (Godon et Loisel, 1997).

Les valeurs du taux de mitadinage pour les différents échantillons de blé dur sont comprises entre 08,5 % et 28,5 %. Statistiquement, les blés dur importés ressortent, d'une façon très hautement significative, plus vitreux que les blés locaux qui généralement, reçoivent une fumure azotée assez faible. En effet, selon Samson. *et al.* (2006), le mitadin est très lié à la nutrition azotée tardive (pré- post- floraison) et à la composition protéique des grains qui en résulte. L'apport d'azote fractionné (en 3 ou 4) avec dernier apport tardif (floraison) améliore la teneur en protéines et diminue de façon significative le mitadin.

Le blé dur 1 ressort le plus mitadiné, ce qui va augmenter la présence de SSSF et donner une mauvaise qualité technologique des pâtes fabriquées (Fig. 13)

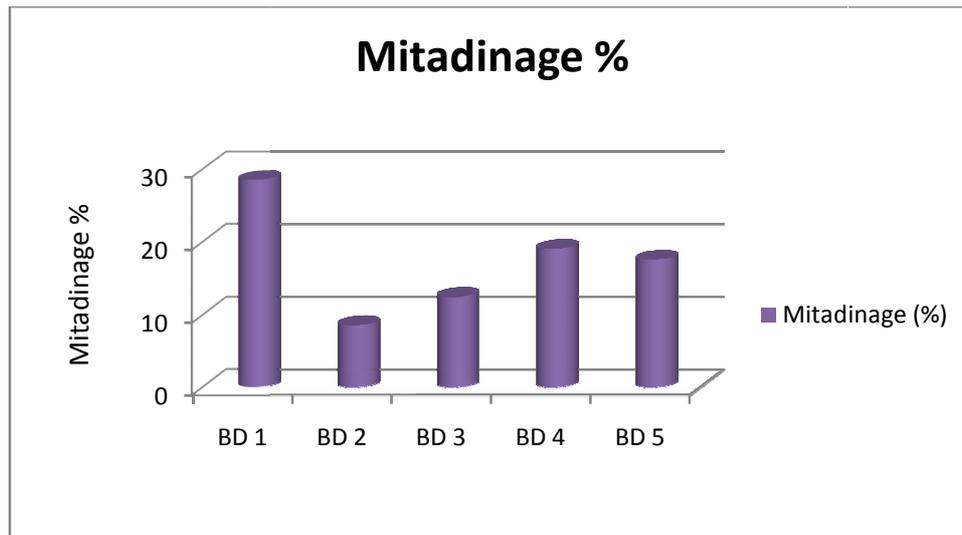


Figure 13 Taux de mitadinage des échantillons étudiés (%)

1.5. Le taux et la nature d'impuretés

Les impuretés sont l'ensemble des éléments considérés conventionnellement comme indésirables dans un échantillon de blé (Scotti et Mont, 1997). Il est connu que, la présence de celles-ci dans le blé diminue la valeur marchande du lot et engendre des incidences néfastes sur la qualité des semoules et des pâtes alimentaires.

Les résultats obtenus pour les valeurs des impuretés rencontrées dans les échantillons étudiés sont présentés dans le tableau 10. Nous avons vérifié la répétabilité des deux essais relative à chaque échantillon, répétabilité qui s'est avérée conforme à la norme NA 1.1.78.1990

Du tableau 09, il ressort que

- ✚ les blés durs 1, 4 et 5 auraient dû être refusés à l'intervention du fait que la teneur en grains nuisibles est supérieure à 0,25 % seuil maximale fixée par la législation céréalière nationale; le blé dur 3 est à la limite de l'acceptabilité (0,23 %).

- ✚ l'ensemble des lots semblent assez propres, la teneur en impuretés diverses étant assez faible

- ✚ Teneur en grains piqués est assez élevée : Ce sont donc des lots qui ont été infestés particulièrement le blé dur 2, importé, dont la teneur est égale à 2,5 %. Du fait que nous n'avons pas trouvé d'insecte, ces lots ont donc dû subir un traitement insecticide suivi par un tamisage pour éliminer les individus morts.

Tableau 09 Impuretés rencontrées dans les échantillons de blé dur étudié

3^{eme} Partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Caractéristique	Blé dur 1 (locale)			Blé dur 2 (Mexicain)			Blé dur 3 (Mexicain)			Blé dur 4 (local)			Blé dur 5 (local)		
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	moyenne	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne
Prise d'essai	100	100		100	100		100	100		100	100		100	100	
Impureté diverses	1,75	1,87	1,81	0,45	1,25	0,85	0,75	0,79	0,77	0,80	0,66	0,73	0,95	0,87	0,91
Grain cassés	4,86	4,22	4,54	3,98	3,22	3,60	2,28	2,2	2,24	3,44	3,36	3,40	4,13	3,99	4,06
Grains échaudés(%)	1,85	1,75	1,80	1,30	1,50	1,40	1,91	1,85	1,88	3,15	3,43	3,29	4,37	4,53	4,45
Blé tendre	1,96	2,04	2,50	1,32	1,48	1,40	1,33	1,43	1,38	1,88	2,02	1,95	2,65	2,77	2,71
Grains piqués	0,35	0,25	0,30	2,36	2,64	2,50	1,84	1,66	1,75	1,49	1,61	1,55	1,05	0,59	0,82
Grains chauffés	0,28	0,52	0,12	0,33	0,27	0,30	0,12	0,18	0,15	0,15	0,11	0,13	1,16	1,28	1,22
Grains mouchetés	1,70	1,84	1,77	3,82	3,98	3,9	2,95	2,33	2,64	5,2	4,98	5,09	2,67	2,75	2,71
Grains fusariés	0,17	0,23	0,20	1,1	1,5	1,3	0,53	0,59	0,56	1,46	1,62	1,54	0,57	0,63	0,6
Grains dégermés	0,56	0,44	0,50	0	0	0	0	0	0	0,35	0,29	0,32	0,36	0,52	0,44
Grains germés	0	0	0	0,67	0,33	0,5	0,69	0,73	0,71	0,29	0,15	0,22	0	0	0
Grains nuisibles	0,65	0,55	0,60	0,11	0,09	0,1	0,17	0,29	0,23	0,53	0,33	0,43	0,35	0,73	0,54
Ergot	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grains sains	56,95	55,82	56,36	73,33	76,23	74,78	75,23	73,43	74,34	60,67	62,03	61,35	65	63,12	60,06
Total impuretés	13,96	13,71	13,42	14,33	14,57	14,45	12,41	12,05	12,31	18,74	18,56	18,65	18,26	18,66	18,46

3^{eme} Partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS

✚ La teneur en grains cassés est élevée particulièrement pour les blés locaux. Cette impureté constitue un inconvénient au niveau du stockage car elle favorise le développement des déprédateurs animaux et microscopiques (Steffan, 1978 ; Multon, 1982) mais également au niveau du moulin. En effet, si les grains cassés sont éliminés au niveau du nettoyage, ils constituent une perte dans le rendement semoulier et s'ils sont récupérés par les meuniers, ils vont perturber le conditionnement et donc la mouture et ils vont contribuer à la réduction de la qualité du produit fini.

D'après Samson et Desclaux (2006), la moucheture est la plus grave des maladies du blé dur, elle déprécie la qualité des semoules et l'aspect des pâtes alimentaires, et se référant à la réglementation Européenne CEE. 824/2000 qui fixe la valeur maximale d'invention à 5%, on peut considérer que nos blés sont conformes à l'exception de l'échantillon 4 dont la teneur est légèrement supérieure.

1.6. La coloration des semoules

Tableau 10 Indice de coloration des blés étudiés

Paramètres	Indice de Jaune	Indice de Brun
Facteur lot	IJ	IB
BD1 (local)	22,52 c	16,54 b
BD 2 (mexicain)	23,53 b	16,73 b
BD 3 (mexicain)	25,49 a	17,97 a
BD 4 (local)	20, 37 d	16,32 b
BD 5 (local)	20,26 d	16,52 b
Moyenne	22,95	16,81
Ecart type	1,88	0,66
Probabilité	< 0,0000	< 0,0000
Signifi.stat	THS	THS

L'évaluation de la couleur est un facteur déterminant de la qualité organoleptique des semoules, c'est pourquoi elle est d'une importance primordiale en industrie alimentaire. La composante jaune est recherchée, alors que la composante brune est indésirable. De ce fait, les échantillons qui ont un indice de jaune élevé sont les mieux appréciées par le consommateur.

3^{eme} Partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats obtenus des indices de coloration des échantillons étudiés sont regroupés dans le tableau 10.

L'analyse de variance montre que les blés importés présentent un indice de jaune significativement plus élevé que les blés locaux alors que l'indice de brun ressort le plus élevé pour le blé importé "BD 3" et similaire pour les autres lots.

Si l'on se réfère l'échelle de classement donné par Houliaropoulos *et al*, 1981 pour les semoules:

Indice de jaune : élevé > 35, moyen : 28-35 et faible < 28.

Indice de brun : élevé >21, moyen : 18-21 et faible < 18.

On remarque que les valeurs de l'indice de jaune des semoules extraites sont toutes faibles. Ceci peut être dû soit au facteur génétique soit à la destruction des pigments caroténoïdes au cours du stockage des grains ou après la transformation du blé en semoule.

La teneur élevée en pigments caroténoïdes, associée à de faibles activités lipoxygénasiques est recherchée dans les blés pour fabriquer des pâtes claires possédant une belle couleur ambrée (Feillet, 1986 ; Demarchi, 1994).

En ce qui concerne l'indice de brun, on constate que tous les échantillons présentent un indice de brun faible. Selon l'échelle de classement donné par Houliaropoulos *et al*, 1981, la valeur optimale pour cet indice de couleur, ne doit pas dépasser 18. Les valeurs obtenues sont toutes inférieures à ce seuil limite, ce qui est favorable pour la couleur finale des semoules.

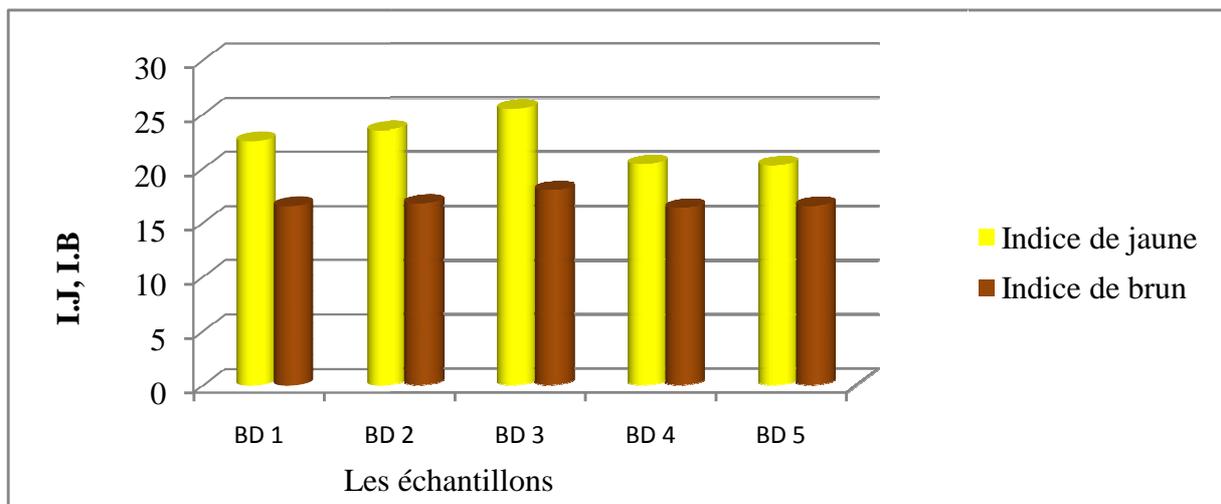


Figure 14 Indice de coloration des échantillons étudié

II Paramètres relatifs au contrôle de mouture

Ces paramètres permettent de vérifier si les opérations de transformation des grains ont été correctement effectuées. Ils touchent le conditionnement des grains, la mouture proprement dite et la fabrication des pâtes alimentaires.

Il est à souligner que nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la semoule type 3SE qui est utilisée spécifiquement pour la fabrication des pâtes alimentaires.

2.1. La teneur en eau

Les résultats relatifs à la teneur en eau des grains et des semoules et des pâtes alimentaires sont représentés dans le tableau 11.

D'après ce tableau, il ressort que les teneurs en eau des grains prélevés avant le premier broyeur (B1) ont similaires :

L'analyse de variance montre que tous les lots de blé dur sont regroupés dans le même groupe, la différence étant non significative. La moyenne étant de 15,6%, nous pouvons dire que le conditionnement des grains a été correctement effectué ; la norme d'entreprise étant de 15,5%.

En ce qui concerne la teneur en eau des semoules fraîchement produites, la différence statistique s'est avérée très hautement significative ($P < 0,00$) : Deux lots, BD 3 et BD 5, présentent une teneur en eau conforme à la norme d'entreprise 14,5% alors que les autres lots ont une teneur inférieure. Du fait que le conditionnement a été correctement effectué, ceci doit être dû au réglage des appareils de mouture qu'il faut donc vérifier et corriger pour tendre à l'obtention de produits finis conformes.

L'analyse statistique de la teneur en eau des pâtes alimentaires fraîchement produites a montré une différence significative ($P= 0,017$) dû au lot 4 (BD 4) dont la teneur est basse (11,5) par rapport à la norme d'entreprise qui prévoit 12,5% (Fig. 22). Le séchage du lot 4 n'a pas été correctement appliqué : ce lot semble avoir subi un séchage intense qui doit être à l'origine des gerçures observées sur les pâtes alimentaires.

D'après Kent et Evers. (1994), les teneurs en eau des pâtes alimentaires sèches ne doivent pas excéder les 12,5%, valeur au dessous de laquelle elles peuvent être conservées sans risque d'altération par les moisissures ou les microorganismes.

3^{eme} Partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau 11 Paramètres physico-chimiques de blé avant B1 et dérivés

Paramètres Facteur lot	Teneur en eau avant B1(%)	Teneur en eau semoule 3SE(%)	Teneur en eau pâtes 3SE(%)	Taux de cendres grains (%/MS)	Taux cendres 3SE (%/MS)	Taux cendres pâtes (%/MS)	Rapport « R » TC (3SE) /TC blé
BD1(local)	15,70 a	14,01 d	12,30 a	1,66 a	0,86 a	0,90 a	0,51
BD2(Imp)	15,00 a	14,02d	12,50 a	1,62 a	0,84 a	0,85 a	0,52
BD3 (Imp)	15,40 a	14,83a	12,45 a	1,50 a	0,82 b	0,94 a	0,36
BD4(local)	15,80 a	14,16c	11,50 b	1,63 a	0,86 a	0,96 a	0,57
BD5(local)	16 a	14,33b	12,50a	1,67 a	0,87a	0,96 a	0,52
Moyenne	15,58	14,27	12,25	0,61	0,85	0,92	0,49
Ecart type	0,39	0,34	0,42	0,07	0,02	0,04	0,079
Probabilité	0,073042	0,0005	0,017	0,557	0,959	0,236	-
Signifi.stat	NS	THS	S	NS	NS	NS	-

Dans la même colonne, les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différents (test Newman et Keuls à P= 0,05).

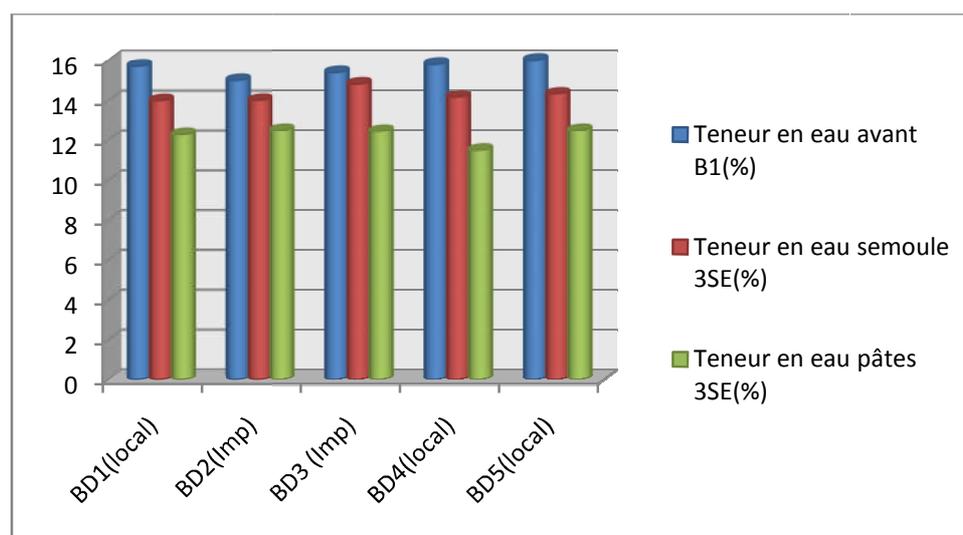


Figure 15 Teneur en eau des échantillons étudiés

2.2. La teneur en cendres

Les résultats relatifs aux taux de cendres des grains, des semoules 3SE et des pâtes alimentaires sont regroupés dans le tableau 11 et la figure 15

D'une façon générale, Le taux de cendres dépend essentiellement du facteur variétal, des conditions de culture et la transformation des grains.

Pratiquement, la mesure de la teneur en cendres est le critère principal utilisé pour apprécier la pureté d'une semoule. L'intérêt est de classer les semoules de façon réglementaire pour leur usage en industrie alimentaire.

D'après l'analyse de variance, la teneur en cendres des grains, des semoules et des pâtes alimentaires ne présente pas de différence significative entre les lots de blé dur soumis à l'expérimentation :

- ❖ Le taux de cendres des grains est assez faible.
- ❖ Celui des semoules 3SE est acceptable (Taux de cendres moyen égal à 0,85% / MS) puisque la législation nationale, prévoit un taux maximum de 1% /MS pour les semoules supérieures (Décret exécutif n° 07 – 402 du 25 décembre 2007, JO n° 80). Les semoules produites à SOPI sont donc pures et conformes à législation. Pour conformer, nous avons calculé le rapport R qui est de l'ordre de 0,5%, donc d'une façon générale le conditionnement et la mouture à été bien réaliser.

Les teneurs en cendres des pâtes alimentaires ne doivent pas excéder 1% (législation nationale). Comme pour les semoules 3SE les valeurs du taux de cendres des pâtes issues sont conformes aux normes (Tab. 11).

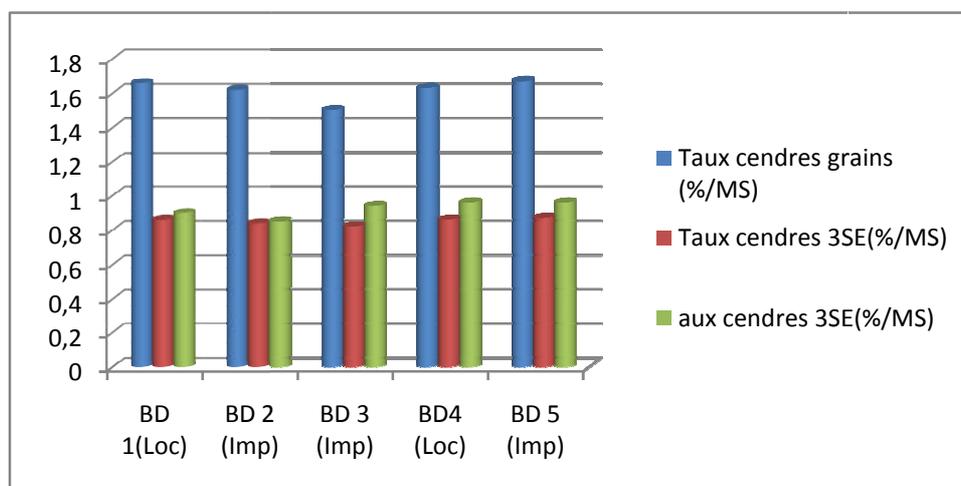


Figure 16 Teneur en cendres des échantillons étudiés

2.3. La granulométrie des semoules

L'analyse granulométrique permet de caractériser la répartition en taille et en pourcentage des particules qui composent une semoule, notamment elle peut influencer la vitesse d'hydratation de la semoule, en effet, plus une semoule est fine, plus elle est riche en amidon endommagé, ce qui entraîne une absorption élevée en eau, favorisant la formation de gros grumeaux nécessitant un recyclage (Sentor, 1983 ; Matsuo, 1988).

Les résultats obtenus de granulation sont dans l'ensemble acceptables du fait que les extractions du tamis ouverture de mailles 160 µm sont inférieures à 10%. Par ailleurs, le tableau 13 et la figure 16 montrent que les semoules extra SSSE analysées sont relativement homogènes et répondent à la granulométrie exigée pour la pastification.

Tableau 12 Contrôle de granulométrie des semoules des blés durs

Echantillon	produits	710	630	500	450	355	250	160	Fond
BD 1 (Local)	3 SE	0	0	0	2	14	46	33	5
BD 2 (Importé)	3 SE	0	0	0	3	17	44	31	5
BD 3 (Importé)	3 SE	0	0	0	3	23	47	25	2
BD 4 (Local)	3 SE	0	0	0	3	22	51	22	2
BD 5(Local)	3 SE	0	0	0	2	18	47	29	4

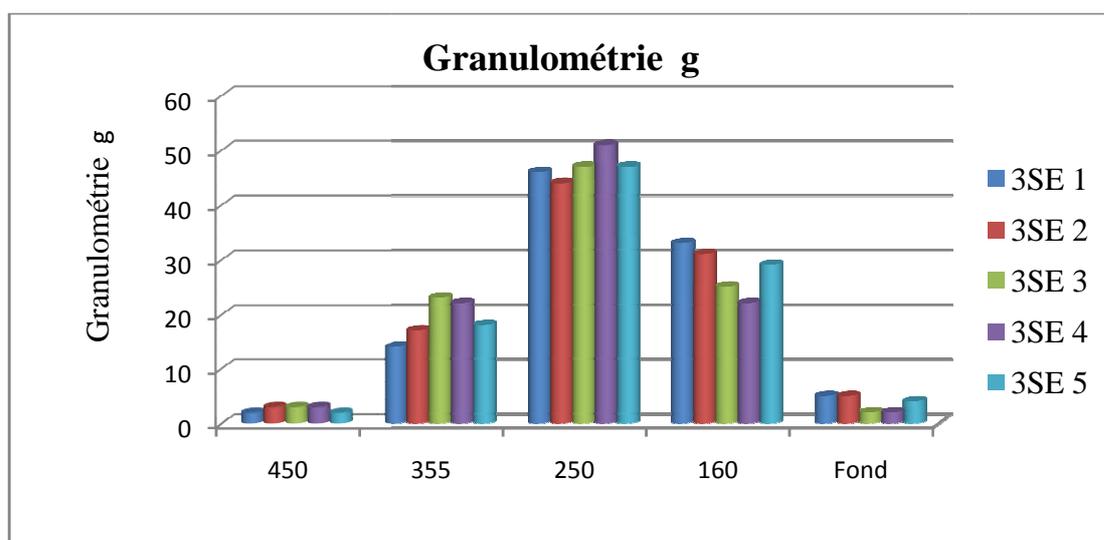


Figure 17 Contrôle de granulométrie des semoules des blés durs (SSSE) (g).

III Paramètres relatifs à la qualité nutritionnelle et technologique des blés durs et dérivés

Les caractéristiques, nutritionnelles et technologiques des grains et dérivés sont importantes pour l'alimentation humaine mais également pour la transformation des semoules en pâtes alimentaires de qualité élevée.

3.1. Teneur en protéines

Les résultats relatifs aux teneurs en protéines des grains, des semoules et des pâtes alimentaires sont rassemblés dans le tableau 13.

La teneur en protéines des grains est un critère important de la qualité. Il est retenu pour l'inscription des blés au catalogue des céréales cultivées en Algérie et il est utilisé dans les transactions commerciales. La valeur d'utilisation d'un blé dans les industries de panification croît avec la teneur en protéines (Godon et Loisel, 1997). Selon Godon (1991), la teneur en protéines du grain varie fortement en fonction des conditions agro-climatiques (précédent cultural, fumure azotée, échaudage) et dans une moindre importance, selon les variétés.

❖ Les blés importés ressortent significativement plus riches en protéines que les blés locaux que nous avons analysés. Parmi ces derniers, le blé dur 1 (BD 1) ressort plus riche en protéines que les deux autres compris dans le même groupe homogène, statistiquement. Ceci doit être en relation avec la fertilisation azotée au niveau du champ qui, généralement, est plus important dans les pays exportateurs comparativement au notre.

Si l'on se réfère à la figure 18 (Relation entre la teneur en protéines et le mitadinage), il ressort que le blé dur local BD 1, plus riche en protéines, est cependant le plus mitadiné : il semble donc plus sensible au mitadinage que les deux autres.

Une de critères essentielle pour l'homologation des variétés de blé dur en Algérie est la résistance au mitadinage, ce qui est tout à fait logique pour limiter cet accident et permettre l'obtention de grains assez vitreux sans apport important d'engrais azoté.

❖ Le tableau 13 montre que le facteur lot de blé dur a un effet très hautement significatif sur la teneur en protéines des semoules 3SE : les semoules issues des lots importés ressortent plus riches en protéines que les lots locaux.

D'après Feillet (2000), la teneur en protéines optimale pour la fabrication des pâtes est de 13% ; le minimum étant de 11,5 : les semoules issues des 5 lots de blé dur testés conviennent à la fabrication des pâtes alimentaires, le blé dur 5 étant à la limite de l'acceptabilité.

On s'aperçoit aussi, que les teneurs en protéines des semoules sont légèrement plus faibles que celles des grains. D'après Nachit *et al.* (1995), la teneur en protéines des semoules est généralement plus faible que celle des grains d'au moins de 1%. Ceci s'explique par le fait que les différentes protéines ne sont pas uniformément réparties dans le grain de blé et leur localisation dépend de leur nature et de leur fonction (Godon B., 1991). Ainsi, on retrouve dans ces semoules uniquement les protéines de réserve accumulées dans l'albumen amylicé, qui en est relativement riche par rapport à l'ensemble du grain.

Comme les semoules, les pâtes peuvent contenir entre 11,5 et 13% de protéines, cette dernière valeur étant l'optimum (Feillet, 2000).

Les pâtes issues des blés importés sont ressorties significativement plus riches en protéines que les pâtes fabriqués à partir des blés locaux.

3.2. Teneur en gluten humide et sec.

Le tableau 14 rassemble les valeurs du gluten sec, du gluten humide ainsi que de la capacité d'hydratation des semoules 3SE étudiées.

D'après le tableau 13 le facteur lot de blé a un effet très hautement significatif sur la teneur en gluten humide (GH), en gluten sec (GS) et la coefficient d'hydratation.

Le lot importé BD 3 ressort le plus riche en gluten humide avec une très bonne capacité d'hydratation ; le second lot importé (BD 2) a présenté un gluten sec le plus élevé mais le coefficient d'hydratation est le plus faible ce qui peut être en relation avec une durée de stockage des grains élevée, (Fourar, 2013), ce qu'a influé négativement sur cet aspect qualitatif.

Si l'on se réfère au tableau 14, relatif à l'échelle de classement du gluten sec (Matveef, 1966), la teneur en gluten sec des semoules 3SE varie entre 9,92 et 12,88. Il semble que le blé 5, présentant une valeur de gluten sec de 9,9% ait une qualité technologique insuffisante (Tabl.13).

Cependant, Corbellin *et al.* (1998) et Luo *et al.* (2000) ont noté que les propriétés rhéologiques du gluten sont affectées de même que la quantité et la qualité des protéines, par le niveau de fertilité du sol notamment les disponibilités de l'azote et du soufre.

En ce qui concerne les valeurs du gluten humide, elles varient entre 29,10% et 37,55%,

Il est à souligner cependant que la détermination du gluten est une analyse assez subjective dont les résultats dépendent de l'expérience du manipulateur (Fourar, 2011). D'autres analyses permettent de donner une idée plus objective, tels que le dosage de l'azote et l'essai au mixographe.

3^{eme} Partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau 13 Paramètres relatifs à la qualité nutritionnelle et technologique des blés durs et dérivés

Paramètres	Teneur protéines Grains (%/ MS)	Teneur protéines 3SE (%/ MS)	Teneur protéines pâtes (%/ MS)	Gluten humide (%)	Gluten sec (%)	Capacité d'hydratation (%)
Facteur lot						
BD1 (local)	12,10 b	12,30 b	12,6 a	29,10 c	10,18 d	65,0 b
BD 2 (Imp)	13,50 a	12,60 a	12,4 a	33,40 b	12,88 a	61,4 c
BD 3 (Imp)	13,40 a	12,70 a	13 a	37,55 a	11,94 b	68,2 a
BD 4 (local)	11,70 c	11,40 c	12 a	29,20 c	10,28 c	64,8 b
BD 5 (local)	11,90 c	11,20 c	11,90 a	27,90 d	9,92 e	64,4 b
Moyenne	12,52	12,04	12,38	31,43	11,04	64,76
Ecart type	0,86	0,69	0,44	4	1,30	2,41
Probabilité	0,021	< 0,000	0,035	< 0,000	< 0,000	< 0,001
Signifi.stat	S	THS	S	THS	THS	THS

Dans la même colonne, les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différents (test Newman et Keuls à P= 0,05).

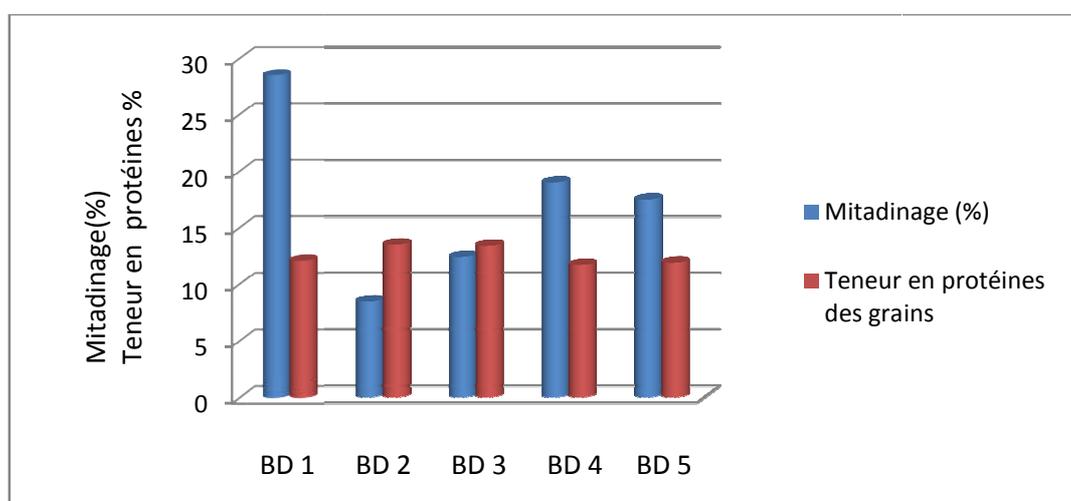


Figure 18 Relation entre la teneur en protéines et le mitadinage

Tableau 14 Echelle de classement du gluten sec (%) (Matveef, 1966)

Gluten Sec <11%	Blés insuffisants
11% < Gluten Sec < 15%	Blés de bonne valeur pastière
Gluten Sec > 15%	Blés de force

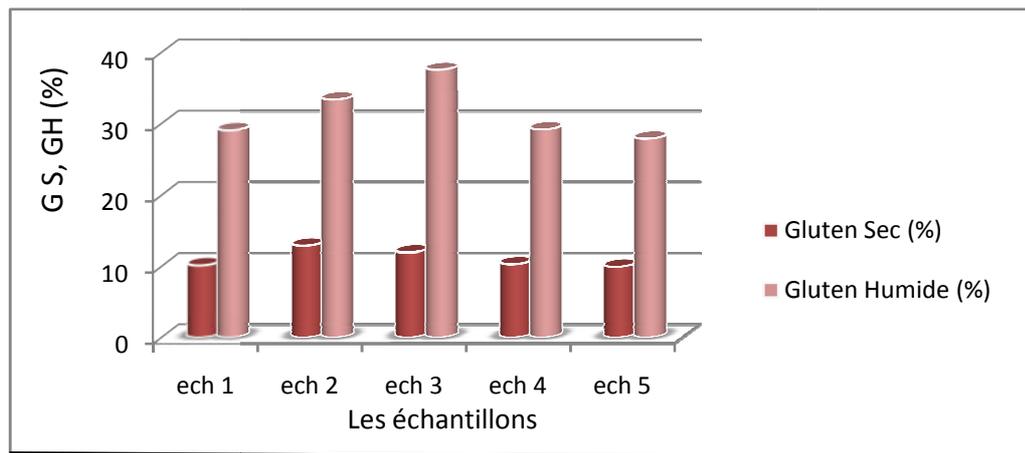


Figure 19 Gluten sec et gluten humide des échantillons 3SE étudiés

3.3. Essai au mixographe

Ce test permet de déterminer quelques propriétés importantes de la pastification des cultivars de blé dur en mettant en évidence en particulier la force du gluten et la tolérance au pétrissage. Les résultats que nous avons obtenus sont rassemblés dans le tableau 15 et les mixogrammes obtenus en annexe 08.

Les paramètres qui régissent l'expression des résultats du mixogramme sont principalement le temps de pétrissage ou temps de développement qui pourrait caractériser la force de la pâte (exprimé en minutes), la hauteur de la pente qui exprime la viscosité (exprimée en millimètres ou en pourcentage) et le degré d'affaiblissement qui illustre la tolérance au pétrissage.

Un blé de force met beaucoup de temps pour que l'intensité maximale soit atteinte alors qu'un blé faible atteint son intensité maximale très rapidement.

Les valeurs de la hauteur du pic des semoules SSSE sont comprises entre 58 et 77 mm.

Selon Kovacs *et al.* (1997), la hauteur du pic obtenue au mixogramme est le meilleur critère de prédiction de la masticabilité et la fermeté des pâtes de blés durs. Donc sur ce plan les échantillons 01 et 04 étudiés s'expriment semblablement ainsi que les échantillons 02 et 05.

3^{eme} Partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Pour le temps de développement, Shogren (1986) a montré que la teneur en protéines peut l'influencer : à des teneurs inférieures à 12%, il est difficile de former une phase continue et donc le temps de développement est élevé.

Les valeurs de ce paramètre sont comprises entre 1,2 min (échantillon 4) et 3,5 min (échantillon 1). Si on considère les trois paramètres mixographiques, les blés durs 1, 3, 2 et 5 présentent une bonne valeur pastière contrairement à l'échantillon 4 donne le temps de développement est faible (1,2) et le degré d'affaiblissement très élevé : c'est une semoule peu tolérante au pétrissage. L'échantillon BD 1 peut être considéré présenter la valeur pastière la plus élevée, supérieure à celle des blés importés.

Tableau 15 Les paramètres des mixogrammes des échantillons étudié

Echantillons	Temps de Développement (min)	Hauteur du pic (mm)	Degré d'affaiblissement
Blé dur 1(local)	3,5	77	9
Blé dur 2 (mexicain)	2	58	6
Blé dur 3 (mexicain)	3	65	8
Blé dur 4 (local)	1,2	75	17
Blé dur 5 (local)	3	58	8

3.4. Evaluation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires

La qualité culinaire est une notion difficile à appréhender, certains l'assimilent à l'aptitude des pâtes alimentaires à résister à la désintégration et à conserver un degré satisfaisant de fermeté après cuisson prolongée, d'autres y intègrent la tendance à coller, la capacité d'absorption d'eau, la faculté de résister à la cuisson et à la sur cuisson et à donner des produits d'un bon goût et d'un bel aspect (Feillet, 1986).

Plusieurs critères sont mesurés à partir de cet essai.

Tableau 16 Appréciation de la qualité culinaire de pâtes issues des blés durs étudiés

Les échantillons	Temps de cuisson (mn)	Sur Cuisson (mn)	Coefficient de désagrégation (%) (perte a la cuisson)	Gonflement (g)	Etat de surface
Blé dur1 (local)	12	22	4,71	210	Moyen
Blé dur2 (mexicain)	11	21	6,85	215	Bon
Blé dur 3(mexicain)	12	22	5,35	224	Bon
Blé dur 4 (local)	10	20	5,49	231	Moyen
Blé dur 5 (local)	12	22	7,76	216	Collant
Moyenne	11,40	21,40	6,03	219,2	

3.4.1. Le temps de cuisson

En se référant au tableau 16, nous constatons que plus la teneur en protéines des pâtes est élevée, plus le temps de cuisson est long. Ceci est confirmé par Lorenz et *al.* (1972), pour lesquels le temps que met l'eau pour traverser la trame protéique pour gélatiniser l'amidon est d'autant plus long que la teneur en protéines est importante.

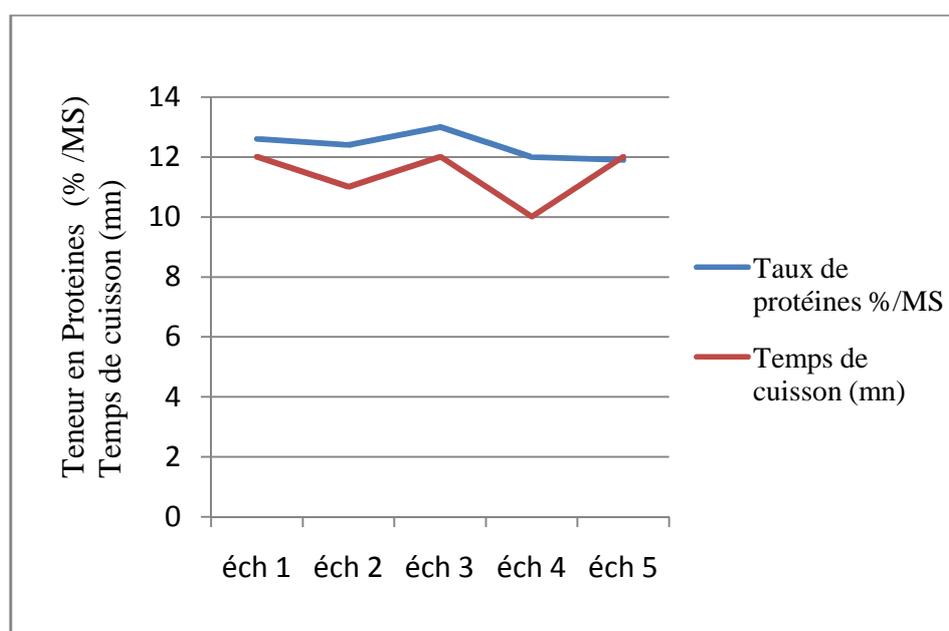


Figure 20 Taux de protéines et temps de cuisson des échantillons des pâtes alimentaires étudié

3.4.2. Les pertes à la cuisson

Celles-ci constituent un paramètre important dont il faut tenir compte car il détermine la tenue des pâtes ; grâce à ce test, on détermine les pertes de substances dans l'eau de cuisson qui, idéalement, doit rester aussi limpide que possible.

D'après Abecassis, (1991), les pertes à la cuisson renseignent sur le degré de désintégration des pâtes à la sur cuisson qu'Okandza (2000) explique par une dénaturation des protéines (rupture des liaisons disulfures, hydrogènes, hydrophobes et ioniques sous l'action de la température) qui précède la gélatinisation de l'amidon et qui se traduit par un relâchement du réseau protéique laissant diffuser l'amylose solubilisé.

D'après l'échelle de classement de tenue à la cuisson des pâtes alimentaires (Fourar, 2013)

- Extrait sec ≥ 7 : mauvaise tenue à la cuisson
- $5 < \text{Extrait sec} < 7$: bonne tenue
- $3,5 < \text{Extrait sec} < 5$: très bonne tenue
- Extrait sec $< 3,5$: pâtes trop riche en gluten

Les pertes à la cuisson les moins importantes sont enregistrées par l'échantillon BD 1(4,71) et les plus élevés par les échantillons BD 5 (7,76) et BD 2 (6,85). Ces résultats confirment ceux obtenus au mixographe.

Nos résultats Tab. 16 montrent que l'échantillon 5 et 2 ont une mauvaise tenue à la cuisson, les échantillons 3 et 4 une bonne tenue à la cuisson et l'échantillon 1 une très bonne tenue à la cuisson. Le blé dur 1 local a donné de bons résultats technologiques et il serait intéressant de l'identifier pour promouvoir sa culture et l'utiliser seul ou en coupage avec des variétés de blé dur à valeur pastière plus faible, le but étant de les améliorer qualitativement.

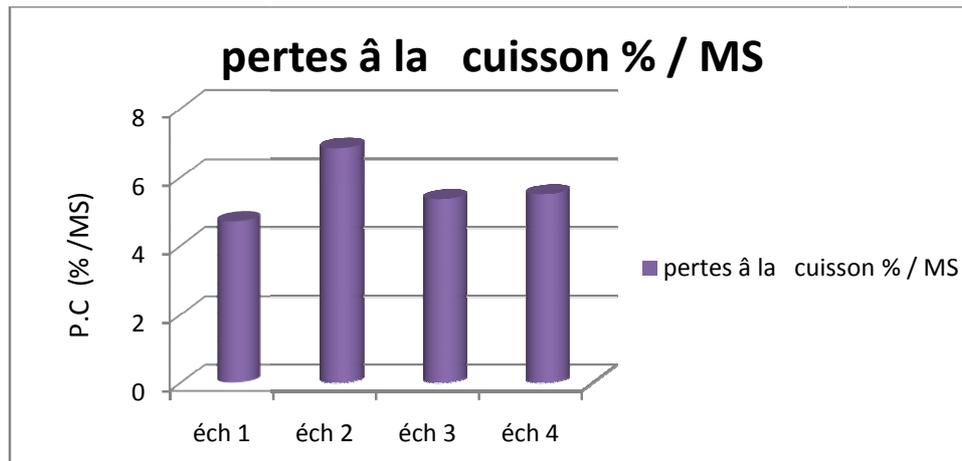


Figure 21 Pertes à la cuisson des échantillons des pâtes alimentaires étudiées

3.4.3. Le Gonflement des pâtes

Le gonflement rend compte de l'aptitude de la pâte à retenir plus ou moins l'eau. Ce paramètre influe directement sur le poids des pâtes cuites et donc sur leur rendement.

Pour la capacité de fixation d'eau les valeurs obtenues varient de 210 à 231g (Tabl 16 et Fig. 22). Elles correspondent à des pâtes de qualité acceptable.

Adams (1987) indique que la diminution de la capacité de fixation de l'eau s'explique par le renforcement de la trame protéique qui contrôle la vitesse de gélatinisation et le degré de gonflement des granules d'amidon qui dépend du milieu de culture.

3.4.4. L'état de surface des pâtes cuites

Nous avons pu observer que l'état de surface des pâtes obtenues était d'un bel aspect, non collantes et une bonne tenue à la cuisson, à l'exception de l'échantillon 5 dont les pâtes étaient collantes avec une couleur relativement brune dûe semble-t-il, à un indice de jaune faible.

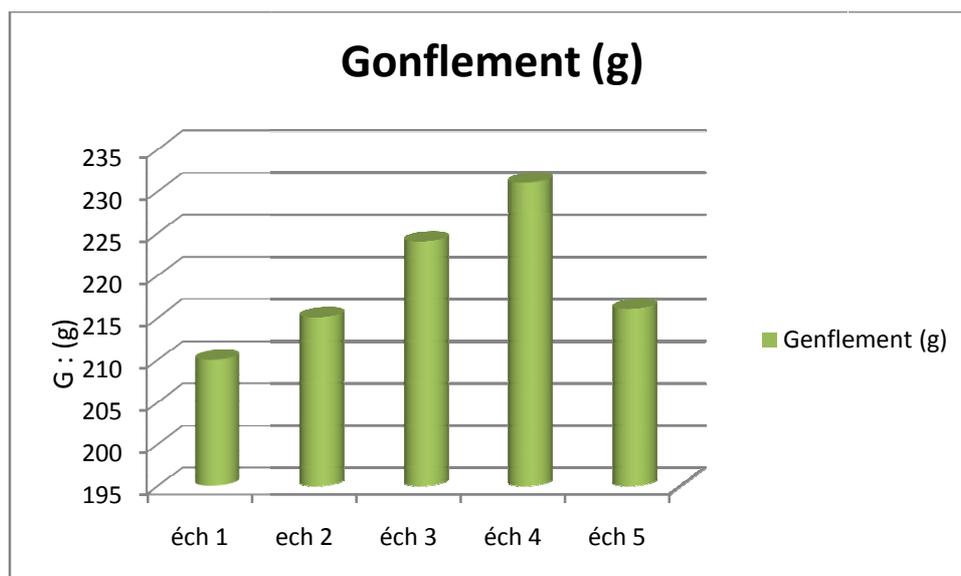


Figure 22 Gonflement des échantillons des pâtes alimentaires étudiées

IV Qualité microbiologique des semoules et pâtes alimentaires issues.

Les résultats des analyses microbiologiques effectuées sur les semoules de blé dur et les pâtes alimentaires sont représentés dans le tableau 17.

Tableau 17 contaminations microbiologique des semoules et pâtes alimentaires issues.

Produits analysés	Microorganismes	
	Moisissures	<i>Clostridium Sulfito-réducteur</i>
Les semoules	absence	absence
Les pâtes alimentaires	absence	absence
Norme Algériennes	≤100 germes / ml	≤100 germes / ml

Les résultats des analyses microbiologiques effectuées révèlent que les échantillons analysés ne contiennent ni moisissures ni *Clostridium Sulfito-Réducteur*. Donc on peut dire que nos produits présentent une bonne qualité microbiologique et qu'ils ont été fabriqués dans des conditions sanitaires satisfaisantes.

CONCLUSION GENERALE

A travers notre étude sur les caractéristiques technologiques et biochimiques des blés et dérivés (semoules et pâtes alimentaires) produits au complexe SOPI, des réponses ont été apportés sur les aptitudes technologiques de ces produits. Nous avons donc analysé plusieurs lots de blé dur, d'origine locale ou importée, ainsi que les dérivés issus.

Pour cela, nous avons commencé d'abord par analyser la matière première qui est le grain et nous avons pu tirer les conclusions suivantes :

✚ Les blés réceptionnés comprennent un taux d'impuretés assez élevé qui diminuent leur qualité marchande et sanitaire (grains piqués,...) ; la teneur en graines nuisibles, supérieure à la norme fixée par le décret de campagne céréalière, aurait dû entraîner le refus à l'intervention des blés dur locaux 1, 4 et 5 qui sont donc, des lots " non sains, non loyaux, non marchands". L'agréateur du complexe SOPI doit donc être plus vigilant quant à la qualité réglementaire des blés qu'il est chargé de réceptionner, l'agrégage devant être pratiqué avec soin.

✚ Une teneur en eau des blés faible, comprise entre 8,35 et 9,12 %, ce qui permet une bonne conservation et une longue durée de stockage mais également une addition d'eau importante entraînant un rendement semoulier élevé. Ce dernier avantage intéresse particulièrement le semoulier.

✚ Un poids à l'hectolitre (PHL) compris entre 77,5 à 84 kg/ hl, un poids de 1000grains (PMG) (40,8 à 43,2 g) assez élevé pour l'ensemble des lots en relation avec le taux d'extraction obtenu qui est appréciable.

✚ Un taux de mitadinage élevé à faible, les blés locaux paraissant plus sensibles à cet accident que les blés importés. Ces derniers,, plus performants, sont plus exigeants en fumure azotée ; dans le cas où leurs besoins en azote ne sont pas respectés, les grains obtenus seront mitadinés. En Algérie, l'une des bases de la sélection des blés durs est la résistance des blés durs au mitadinage. Cette aptitude n'est cependant pas suffisante pour éviter le mitadinage :

Un apport d'engrais azoté correct sans être élevé doit être fait.

Le mitadinage des grains influe sur la quantité et la qualité des semoules issues et donc des pâtes alimentaire ; il peut être prévenu par coupage avec des blés vitreux. C'est une méthode d'amélioration de la qualité des dérivés du blé dur. Ces coupages peuvent être réalisés sur la base du mitadinage mais plus précisément des la teneur en protéines. Dans notre essai, il serait intéressant de couper les blés importés avec les blés locaux pour élever la qualité nutritionnelle et technologique de ces derniers.

CONCLUSION GENERALE

Au niveau du produit fini primaire ou semoule, la semoulerie SOPI fabrique suivant la granulométrie et la pureté, 4 types de semoule :

- Semoule grosse moyenne (SGM)
- Semoule moyenne extra (SM)
- Semoule super sassée extra (SSSE)
- semoule sassée super fine (SSSF).

Il ressort que ces semoules sont conformes à la norme algérienne : la teneur en eau est de l'ordre de 14,5 %, la granulométrie homogène et le taux de cendres optimal ($\approx 0,85\%$ / MS).

Les valeurs de la capacité de rétention de l'eau par le gluten sont comprises entre 61,4 et 68,2%. La plus grande capacité d'hydratation est attribuée à l'échantillon 3 (importé), la plus faible à l'échantillon 2 (importé). A travers ces résultats, on constate que la fixation de l'eau par le gluten des semoules est fonction de la variété mais également de la composition des grains et de leur condition et durée de stockage.

Le test au mixographe nous donne trois paramètres : la hauteur, le temps de développement et l'affaiblissement. D'après nos résultats, il ressort que l'échantillon 1, local, possède les meilleures caractéristiques mixographiques : parmi les variétés céréalières homologuées en Algérie, ressortent des variétés de blé dur intéressantes au niveau agronomique et technologique (qualité des protéines). Un itinéraire technique correct au niveau de champ, permettrait d'obtenir des grains en quantité et qualité élevées. Pour cela, il faut encourager la production nationale de blé dur par des actions d'incitation du producteur (crédit, primes,...).

Les valeurs de l'indice de jaune et de l'indice de brun des semoules extraites étant faibles, la couleur finale des semoules était acceptable.

Comme pour les semoules, les caractéristiques des pâtes alimentaires concernant la teneur en eau, le taux de cendres et la teneur en protéines se sont avérées conformes aux normes algériennes. L'essai de cuisson des pâtes alimentaires a montré que, d'une façon générale, les blés que nous avons analysés ont permis la fabrication de semoules et de pâtes alimentaires de qualité acceptable.

Au niveau microbiologique, nous avons recherché dans nos échantillons les spores de *Clostridium Sulfito Réducteur* et les moisissures ; nous avons noté une absence totale des spores et des moisissures. Ce qui dénote un bon état sanitaire des produits analysés : la

CONCLUSION GENERALE

fabrication des semoules et pâtes alimentaire au complexe SOPI est faite dans des conditions hygiéniques satisfaisantes.

De notre expérimentation, il ressort que les produits fabriqués au complexe SOPI sont conformes aux normes nationales. La période d'étude étant de quatre mois, il serait intéressant de la renouveler pour s'assurer du maintien de la qualité des produits fabriqués.

Il serait également nécessaire d'effectuer ces contrôles au niveau des différents moulins et complexes céréaliers nationaux pour mettre en évidence le niveau qualitatif, technologique et sanitaire des produits fabriqués et remédier en cas de défauts de fabrication. En effet, le contrôle qualitatif au niveau des industries céréalières est primordial pour prévenir la fabrication de produits finis non conformes, rejetés par la législation et donc non commercialisables (Fourar, 2011)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **ABDELLAOUI Z., MARICHE O., 2008.** Effet de la fertilisation azotée sur l'expression céréaliculture, de la qualité technologique du blé dur : propriétés physico-chimiques, *Cérealiculture*, **50**, pp 21-22
- **ABECASSIS J., 1991** Qualité du blé dur et de la semoule et des pâtes alimentaires. *Ind.de céréales*, **72**, pp 7-8.
- **ABECASSIS J., FEILLET P., 1985** Pureté des semoules de blé dur, taux de cendres et réglementation, *Ind .Céréales*, **36** ,13 p .
- **ADAMS K., (1987).** Factors affecting the quality of cooked and canned spaghetti and the interaction of glutamine and gliadins with 7S and 11S soybean proteins. Univ. Manhattan, Kansas 66506, USA. Dissertation abstracts International.
- **AFREM, 2005.** Le blé dur, les pâtes alimentaires et leur séchage. 48 p
- **ANONYME, 1976.** Céréales et oléagineux, manutention, commercialisation, transformation, Seconde édition publiés par Institut international du CANADA pour le grain.
- **ANONYME, 1984.** Les pâtes: un aliment incontournable. *Agroiane* **5**. pp 10-11.
- **BALNAIMA, LKHERBA.F., 2005.** Influence du blé mitadiné sur la qualité pastière de la semoule destinée à la pastification ; Mémoire d'ingénieur d'état de transformation des céréales. Boumerdes.
- **BOSSU, 2005** : Formation SIM « Du blé dur aux pâtes » version A du 10/10/2005.
- **BOUDREU A., GERMEN M., 1992** *Le blé, éléments fondamentaux et transformation*, Canada Université Laval, 131p.
- **BOUKHEMIA A ., 2003 .** Aptitudes technologiques de quelques variétés de blé dur local : interaction amidon-protéine, thèse de magister, option : sciences alimentaires. Boumerdes.
- **CORBULLIN M., MAZA L ., CIAFFI M., LAFIANDRA D., BOURGHI B., 1998 .** Effect of heat shock during grain filling on protein composition and technological quality of wheats. In wheat, prospects for global improvement, proc. Of International Wheat Conference Ankara, Turkey, 10-14 June 1996. Kluwer Academic Publisher, Netherlands, P 213.
- **DEMARCHI F., 1994.** La qualité des blés durs et des pâtes alimentaires, Séminaire européen COMETT. 27-29 Janvier. Montpellier.
- **DOUMANDJI A., 2003** Technologie de transformation des blés et problèmes dues aux insectes au stock, Cours de technologie des céréales pp 6-51.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **FEILLET P., 1986.** L'industrie des pâtes alimentaires : Technologie de fonction, qualité des produits finis et des matières premières. *IAA*, p. 978.
- **FEILLET P., 1987.** Séchage à haute et très haute température. Rapport de synthèse d'une étude réalisée par l'INRA, l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, l'ITCF et la société Alstom Atlantique.
- **FEILLET P., 2000 .** *Le grain de blé : Composition et utilisation*, Ed. Inra, PP 17-318.
- **FOURAR R., 2011.** Cours «Agréage et contrôle de qualité » 3^{ème} année technologie des céréales. Département Agronomie, Université Saad Dahlab, Blida.
- **FOURAR R., 2013.** Cours « Technologies de pastification » 3^{ème} année technologie des céréales. Département Agronomie, Université Saad Dahlab, Blida.
- **GODON B., 1978** «Matières minérales du grains de blé et de la farine *Bull.anciens élèves EFM*, **283**, p 33.
- **GODON B., 1991.** *Biotransformation des produits céréaliers*, Ed. Tec & Doc Lavoisier, Paris, pp 363-371.
- **GODON B., 1998** *Les industrie de première transformation des céréales*, Lavoisier Tec et Doc, Paris, pp 57- 376.
- **GODON B., LOISEL W., 1997.** Guide pratique d'analyses dans les industrie des céréales Tec et doc. Lavoisier, Paris P 819.
- **GODON B., WILLM C., 1998.** *Les industries de première transformation des céréales*, Ed. Tec & Doc, Lavoisier. Paris, pp. 66- 68.
- **GRIGNAC P., 1978.** Les blés durs, Monographie succincte,. Des plantes, **20**, p159.
- **HOULIARPOULOS S., ABECASSIS J ., AUTRAN J.C., 1981.** Produits de mouture du blé dur : coloration et caractéristique culinaires» *Ind Céréales*, Tec et Doc. Lavoisier ; Paris, pp 347-348.
- **JEANTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P., BRUEL G. 2007.** *La science des aliments, Technologie des produits alimentaires*. Ed, Tec & Doc. Lavoisier. Paris , p187.
- **KENT N.L., EVERS A.D., 1994.** *Technology of cereals*. Ed. Elsevier Science Inc, 4^{ème} édition, New York, 234 p.
- **KOVACS M.I.P., POSTE L.M., BUTLER G., WOODS S.M., LEISLE D. , NOLL J.S., et DAHLKE G. , 1997.** Durum wheat quality: comparison of chemical and rheological Screening test with sensory analysis.*J.cereal Sci*, **25**: p 65.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **LEGENDE R.**, 1935. *Les céréales, biologie et applications*. Ed. Armand Colin, Paris, 213P.
- **LEMPEREUR L., CHANARAND M., ABECASSIS J., ATRANJ C., 1997.** Valeur semoulière des blés durs (*Triticum durum* desf). Influence de la taille des grains. *Ind .des céréales*, **104**. pp 13-20.
- **LOUIS J., 1998.** *Les pâtes alimentaires : de l'épi à l'assiette*, Frisonrouche Ed Paris.
- **LUO C., BRANLARD W.B., GRIFFIN W.B., MC NEIL D.L., 2000.** The effect of nitrogen and sulfur fertilization and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. *J. Cereal Sci*, **31**, p 185.
- **MAHAUT B., 1996.** Comment évalue-t-on la qualité d'un blé dur, colloque «Perspectives blé dur». Ed. ONIC ; ITCF, France, p 31.
- **MARICHE O., 2000.** L'effet de fertilisation azotée sur la qualité technologique de deux variétés de blé dur (*Triticum durum*), Mémoire d'ingénieur agronome. Blida.
- **MASSE J., VIAUX P., 1983.** L'azote et la croissance du blé. *Perspectives agricoles*, **68**, pp : 76-81.
- **MATVEEF M, 1963** .Le mitadinage des blés durs, son évaluation et son influence sur le rendement et la valeur semoulière, *Bull. E.S.M.* **115**, pp 299-306.
- **MATVEEF M. 1966.** Influence du gluten des blés durs sur la valeur des pâtes alimentaires. *Bull. ENSMIC.* **213**, pp : 133-138
- **MEDJKANE S., OUKSOUM M., 2005** Contribution à la fabrication des pâtes alimentaires aux œufs ; Mémoire d'ingénieur d'état de transformation des céréales,Boumerdes.
- **MULTON J.L., 1982.** *Conservation et stockage des grains et grains et produits dérivés*. Céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux. Ed. Techn. Et Document.,Lavoisier / A.P.R.I.A., Paris, Vol.1, 576p.
- **NACHIT M., BAUM M., IMPIGLIA H., KETATA H., 1995.** Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in mediterranean environments, options Meditirranéennés, Zaragoza (ESP), **22** , p181.
- **OKANDZA Y., 2000.** Caractérisation technologique et biochimique de quelques variétés de blés durs algériens. Thèse magistère. INA. Alger.
- **RENAUDIN CH., 1951.** *La fabrication industrielle des pâtes alimentaires*, Ed DUNOD.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

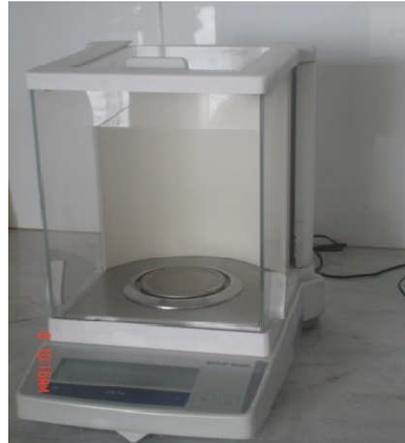
- **ROUSSET M., 1986.** Amélioration des plantes autogames, *Agronomie*, **9**, pp: 616-619.
- **SADI N., GUEBLI H ., 2001.** Contribution à la détermination de la qualité industrielle de quelques variétés de blé dur. Mémoire DEUA, option contrôle de qualité BLIDA.
- **SAMSON M.F., DESCLAUX D., 2006.** Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de mouchetures et de mitadins. Colloque régional du 21 juin 2006 corpus INRA-Agro Montpellier, **4**, p 245.
- **SCOTTI G., MONT J.M., 1997.** Analyses physiques des grains : blé tendre et blé dur, *In : Godon et Loisel, Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales.* Ed. Tec & Doc Lavoisier. Paris, p 188.
- **SHOGREN M., 1986.** The mixograph quality control seminar. American Institute of baking.
- **SIMMONS L., MEREDITH P., 1979.** Widyh, weight, endosperm and bran of normal and shriveled wheat. *New Zealand Journal of Science*, **22**, p 10.
- **SOLTNER D., 1988.** *Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies*, p 464.
- **STEFAN J.R., 1978.** Description et biologie des insectes. *In : Les insectes et les acariens des céréales stockées* (Scotti G), Ed. AFNOR / ITCF, paris, pp 1-65.

Annexes

Annexe 01 : Matériel utilisé



Balances mono plateau



Balances analytique



Dessiccateurs



Four à moufle pour
le dosage des cendres



Etuve multicellulaire
pour le dosage de l'eau

Annexes



Nilema-litre pour détermination
du PhI ou « PS »



Plansichter avec tamis
granulométriques



Infra- tec (Infrarouge protéine, eau,...)



Glutorc pour le séchage du
gluten humide

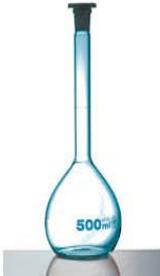


Mixographe pour la détermination de la valeur pastière
des semoules et farines

Annexes

Annexe 02 verreries utilisée

Verreries :



Fiolle jaugée



Tube à essai



Bêcher



Capsules en porcelaine
(pour le four à moufle)



Pipettes graduées



Pipettes Pasteurs



Éprouvette graduée



Erlenmeyer



Burette

Annexes

Annexe 03 : Composition des milieux de cultures utilisées

L'eau physiologique

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

Milieu Oxytetracycline Gélose Agar (OGA)

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

Milieu AGAR viande foie

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

Annexes

Annexe 04 : résultat d'analyse chimique de blé dur

Tableau 18 Masse à l'hectolitre et des blés

	Poids Spécifique		
	1 ^{ère} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne
Echantillon n°1	78,3	78,5	78,4
Echantillon n°2	83,1	83,3	83 ,2
Echantillon n°3	83,5	83,7	83,60
Echantillon n°4	83,2	84,8	84
Echantillon n°5	76	79	77,50

Tableau 19 Masse de 1000 Grains des blés

	PMG		
	1 ^{ère} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne
Echantillon n°1	43,01	43,1	43,07
Echantillon n°2	42 ,8	43	42,90
Echantillon n°3	43	43 ,3	43 ,15
Echantillon n°4	41,9	42,09	41,97
Echantillon n°5	40,58	41	40,79

Tableau 20 Mitadinage des différents échantillons étudiés

	Mitadinage (%)		
	1 ^{ère} essai	2 ^{ème} essai	Moyenne
Echantillon n°1	28,6	28,4	28,5
Echantillon n°2	8	8,94	8,47
Echantillon n°3	12	12,8	12,4
Echantillon n°4	18	20	19
Echantillon n°5	17	18	17,5

Annexes

Tableau 21 Teneur en eau de blé avant B1

	Humidité (%)		
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne
BD 1	15,4	16	15,70
BD 2	15	15	15
BD3	15,6	15,20	15,40
BD4	16	15,60	15,80
BD 5	15,90	16,1	16

Tableau 22 Teneur en eau des blés sale étudiés

	Humidité (%)		
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne
Echantillon n°1	9,10	9,14	9,12
Echantillon n°2	8,45	8,55	8,50
Echantillon n°3	8,22	8,48	8,35
Echantillon n°4	8,77	8,63	8,70
Echantillon n°5	9,10	8,70	8,90

Tableau 23 Taux de cendres des blés sale étudiés

	Taux de cendres (%)		
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne
Echantillon n°1	1,52	1,80	1,66
Echantillon n°2	1,60	1,64	1,62
Echantillon n°3	1,52	1,48	1,50
Echantillon n°4	1, 60	1,66	1,63
Echantillon n°5	1,59	1,75	1,67

Annexes

Tableau 24 Teneur en protéines des blés sale étudiés

	Teneur en protéines (%)		
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne
Echantillon n°1	11,95	12, 25	12,10
Echantillon n°2	13,65	13,35	13,50
Echantillon n°3	13,82	12,98	13,40
Echantillon n°4	12,17	11,23	11,70
Echantillon n°5	11,78	12,02	11,90

Annexe 05 Résultat d'analyse chimique de semoule pâte alimentaires (3SE)

Tableau 25 Teneur en eau des semoules 3SE étudiés

	Humidité (%)			
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne	Norme
Echantillon n°1	14,00	14,02	14,01	$\leq 14,5$
Echantillon n°2	14,06	13,98	14,02	
Echantillon n°3	14,78	14,88	14,83	
Echantillon n°4	14, 07	14,25	14,16	
Echantillon n°5	14, 30	14, 36	14,33	

Tableau 26 Taux de cendres des semoules 3SE étudiés

	Taux de cendres (%)			
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne	Norme
Echantillon n°1	0,88	0,84	0,86	< 1
Echantillon n°2	0,88	0,80	0,84	
Echantillon n°3	0,89	0,75	0,82	
Echantillon n°4	0,92	0,80	0,86	
Echantillon n°5	0,81	0,93	0,87	

Annexes

Tableau 27 Teneur en protéines des semoules 3SE étudiés

	Teneur en protéines (%)			
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne	Norme
Echantillon n°1	12,28	12,32	12,30	□11
Echantillon n°2	12,51	12,70	12,60	
Echantillon n°3	12,68	12,72	12,70	
Echantillon n°4	11 ,51	11,29	11,40	
Echantillon n°5	11,24	11,16	11,20	

Tableau 28 Gluten humide des semoules 3SE étudiés

	Gluten humide		
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne
Echantillon n°1	28,55	29,65	29,10
Echantillon n°2	32,99	33,81	33,40
Echantillon n°3	38,12	36,98	37,55
Echantillon n°4	28,94	29,46	29,20
Echantillon n°5	28,03	27,77	27,90

Tableau 29 Gluten sec des semoules 3SE étudiés

	Gluten sec		
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne
Echantillon n°1	10,01	10,35	10,18
Echantillon n°2	12,79	12,97	12,88
Echantillon n°3	11,53	11,35	11,94
Echantillon n°4	10,24	10,32	10,28
Echantillon n°5	10,25	9,59	9,92

Annexes

Indice de coloration

Tableau 30 Indice de jaune des semoules 3SE étudiés

Indice de jaune					
	Echantillon n°1	Echantillon n°2	Echantillon n°3	Echantillon n°4	Echantillon n°5
Essai 1	22,90	23,66	24 ,96	21,01	20,11
Essai 2	23,09	23,04	25,70	19,73	21,05
Essai3	22,61	23,70	25,34	20,75	20,08
Essai 4	23,03	23,53	25,65	20,56	20,42
Essai5	21 ,95	23,49	25,46	19,93	20,04
Essai6	22,21	23,44	25,59	20,33	20,19
Essai7	22,24	23,29	25,52	20,70	20,40
Essai8	22,18	23,57	25,58	20,73	20,16
Essai9	22,59	23 ,95	25,47	20,24	20,58
Essai10	22,38	23,61	25,66	19,76	19,57
Moyenne	22,518	23,528	25,49	20,371	20,26

Tableau 31 Indice de brun des semoules 3SE étudiés

Indice de brun					
	Echantillon n°1	Echantillon n°2	Echantillon n°3	Echantillon n°4	Echantillon n°5
Essai 1	16,91	17,16	17,85	16,44	17,35
Essai 2	16,43	16,90	17,92	16,06	16,56
Essai3	16,16	16,98	17,78	16,58	16,36
Essai 4	16,59	16,66	18,03	16,58	16,30
Essai5	16,57	16,97	17,98	16,07	16,76
Essai6	16,27	16,52	17,85	16,05	16,10
Essai7	17,32	16,38	18,07	16,61	16,52
Essai8	16,92	16,60	18,23	16,66	16,18
Essai9	16,29	16,98	18,22	16,10	16,31
Essai10	15,97	16,64	17,97	16,09	16,79
Moyenne	16,54	16,72	17,97	16,32	16,52

Annexes

Annexe 06 Résultat des pâtes alimentaires

Tableau 32 Teneur en eau des échantillons étudiés des pâtes alimentaires étudiés

	Humidité (%)		
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne
Echantillon n°1	12,25	12,35	12,30
Echantillon n°2	12,67	12,33	12,50
Echantillon n°3	12,33	12,57	12,45
Echantillon n°4	11,3	11,7	11,50
Echantillon n°5	12,37	12,63	12,50

Tableau 33 Taux de cendres des échantillons étudiés des pâtes alimentaires étudiés

	Taux de cendres (%)		
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne
Echantillon n°1	0,85	0,95	0,90
Echantillon n°2	0,80	0,90	0,85
Echantillon n°3	0,93	0,95	0,94
Echantillon n°4	0,95	0,97	0,96
Echantillon n°5	0,94	0,98	0,96

Tableau 34 Taux de protéines des échantillons étudiés des pâtes alimentaires étudiés

	Teneur en protéines (%)		
	1 ^{ere} essai	2 ^{eme} essai	Moyenne
Echantillon n°1	12,4	12,8	12,6
Echantillon n°2	12,30	12,50	12,4
Echantillon n°3	12,95	13,05	13
Echantillon n°4	11,67	12,33	12
Echantillon n°5	11,8	11,1	11,90

Annexes

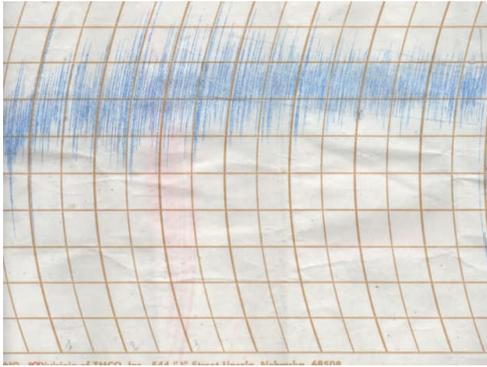
Annexe 07

Table de correspondance de quantité d'eau à ajouter en fonction du taux de protéines pour le mixoprogramme .Université américaine du Nord DACOSTA Station expérimentale d'agriculture (Département de technologie des céréales, 1987).

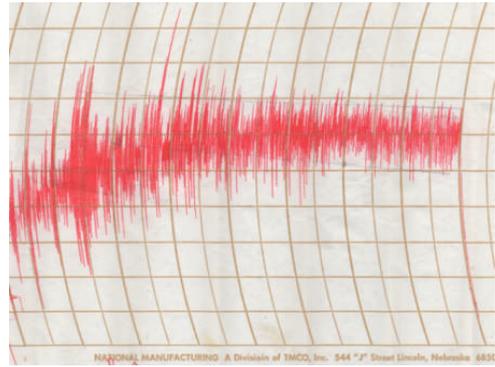
Teneur en protéine de la semoule (%)	Quantité d'eau à ajouter (ml)
16	6,6
15,5	6,55
15	6,5
14,5	6,45
14	6,4
13,5	6,35
13	6,3
12,9	6,29
12,8	6,26
12,7	6,27
12,6	6,26
12,5	6,25
12,4	6,24
12,3	6,23
12,2	6,22
12,1	6,21
12	6,2
11,9	6,29
11,6	6,18
11,7	6,17
11,6	6,16
11,5	6,15
11,4	6,14
11,3	6,13
11,2	6,12
11,1	6,11
11	6,1
10,9	6,09
10,8	6,08
10,7	6,07
10,6	6,06
10,5	6,05
10,4	6,04
10,3	6,03
10,2	6,02
10,1	6,01
10	6,0

Annexes

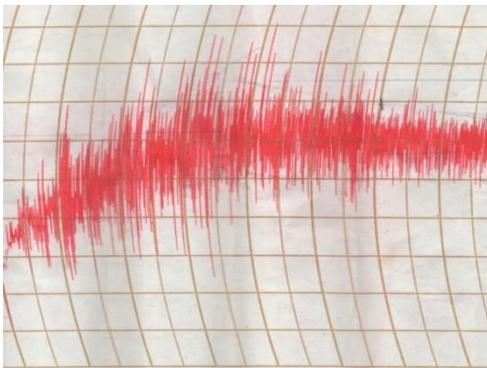
Annexe 08 Les mixogrammes des échantillons étudiés



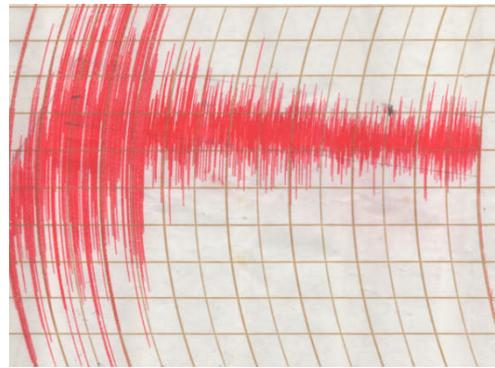
Echantillon 1



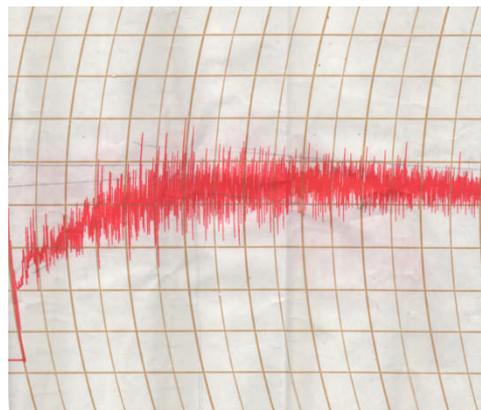
Echantillon 2



Echantillon 3



Echantillon 4



Echantillon 5

Annexes

Annexe 09 Etudes statistiques

Tableau 35 Résultats de variance relative à La mase à hectolitre (PS) des grains

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	66161,96	1	66161,96	56645,51	0,000000
Variance facteur blé	78,06	4	19,52	16,71	0,004251
Variance résiduelle	5,84	5	1,17		

Tableau 36 Résultats de variance relative à PMG des grains

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	17950,47	1	17950,8	597154,8	0,000000
Variance facteur blé	7,84	4	1,96	65,2	0,000168
Variance résiduelle	0,15	5	0,03		

Tableau 37 Résultats de variance relative à Mitadinage des grains

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	2949,463	1	2949,463	4493,666	0,000000
Variance facteur blé	460,539	4	115,135	175,414	0,000015
Variance résiduelle	3,282	5	0,656		

Tableau 38 Résultats de variance relative à Teneur en eau des grains

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	759,3380	1	759,3380	29340,72	0,000000
Variance facteur blé	0,7558	4	0,1890	7,30	0,025607
Variance résiduelle	0,1294	5	0,0259		

Tableau 39 Résultats de variance relative à Teneur en eau avant B1 des grains

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	2427,364	1	2427,364	33713,39	0,000000
Variance facteur blé	1,216	4	0,304	4,22	0,073042
Variance résiduelle	0,360	5	0,072		

Tableau 40 Résultats de variance relative à Teneur en cendres des grains

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	26,11456	1	26,11456	2356,910	0,000000
Variance facteur blé	0,03704	4	0,00926	0,836	0,5565583
Variance résiduelle	0,05540	5	0,01108		

Annexes

Tableau 41 Résultats de variance relative à taux de protéines des grains

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	1567,504	1	1567,504	8580,600	0,000000
Variance facteur blé	5,936	4	1,484	8,123	0,020564
Variance résiduelle	0,913	5	0,183		

Tableau 42 Résultats de variance relative à gluten humide des semoules (3SE)

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	9878,449	1	9878,449	28063,78	0,000000
Variance facteur blé	128,396	4	32,099	91,19	0,000074
Variance résiduelle	1,760	5	0,352		

Tableau 43 Résultats de variance relative à gluten sec des semoules (3SE)

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	1196,836	1	1196,836	19229,37	0,000000
Variance facteur blé	12,134	4	3,034	48,74	0,000340
Variance résiduelle	0,311	5	0,062		

Tableau 44 Résultats de variance relative à Coefficient d'hydratation des semoules (3SE)

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	42295,51	1	42295,51	90648,13	0,000000
Variance facteur blé	67,31	4	16,83	36,06	0,000702
Variance résiduelle	2,33	5	0,47		

Tableau 45 Résultats de variance relative à la teneur en eau des semoules (3SE)

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	2036,329	1	2036,329	385668,4	0,000000
Variance facteur blé	0,919	4	0,230	43,5	0,000447
Variance résiduelle	0,026	5	0,005		

Tableau 46 Résultats de variance relative à Taux de cendres des semoules (3SE)

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	7,225000	1	7,225000	1281,028	0,000000
Variance facteur blé	0,003200	4	0,000800	0,142	0,959103
Variance résiduelle	0,028200	5	0,005640		

Annexes

Tableau 47 Résultats de variance relative à Taux de protéines des semoules (3SE)

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	1449,857	1	1500,625	36529,33	0,000000
Variance facteur blé	3,857	4	0,365	8,89	0,017050
Variance résiduelle	0,047	5	0,041		

Tableau 48 Résultats de variance relative à Indice de jaune des semoules (3SE)

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	25161,08	1	25161,08	203584,3	0,000000
Variance facteur blé	195,30	4	48,82	395,0	0,000000
Variance résiduelle	5,56	45	0,12		

Tableau 49 Résultats de variance relative à Indice de brun des semoules (3SE)

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	14115,02	1	14115,02	127031,4	0,000000
Variance facteur blé	15,86	4	3,96	35,7	0,000000
Variance résiduelle	5,00	45	0,11		

Tableau 50 Résultats de variance relative à Teneur en eau pâtes alimentaires

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	1500,625	1	1500,625	36529,33	0,000000
Variance facteur blé	1,460	4	0,365	8,98	0,017050
Variance résiduelle	0,205	5	0,041		

Tableau 51 Résultats de variance relative à Teneur en cendres des pâtes alimentaires

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	8,500840	1	8,500840	3795,018	0,000000
Variance facteur blé	0,017760	4	0,004440	1,982	0,235619
Variance résiduelle	0,011200	5	0,002240		

Tableau 52 Résultats de variance relative à Teneur en protéines des pâtes alimentaires

	S.C.E	ddl	Carré moyens	Test F	Probabilité
Variance totale	1510,441	1	1510,441	13300,82	0,000000
Variance facteur blé	2,804	4	0,701	6,17	0,035830
Variance résiduelle	0,568	5	0,114		