

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique
Université de Blida 1



Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département sciences alimentaires

Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention d'un diplôme Master

Spécialité : Agro-alimentaire et Contrôle de Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Science de la nature et de la vie

Thème :

**Etude de l'effet du taux de mitadinage des blés
durs sur la qualité du couscous**

Présente par :

- **ABBAS MOUSSA Ikram**
- **BENARBIA Ayoub**
- **BENAHMED Yassine**

Devant le jury :

- **Président : Dr FERNANE. S (MAA)**
- **Examinatrice : Dr KOUIDRI. A (MCA)**
- **Promotrice : Dr BENLEMMANE. S (MCB)**

Année universitaire : 2021-2022



Remerciement

Tout d'abord, la louange à « ALLAH » qui nous a guidés sur le chemin Droit tout au long de notre travail et nous a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Nos vifs remerciements vont également à tout le groupe de SARL SEMOULERIE AMOUR (toute l'équipe de laboratoire et la chaîne de fabrication) qui nous ont fourni gracieusement du matériel d'analyse pour mener à bien nos expérimentations sur les paramètres physico-chimique et technologique. Nos vifs remerciements à tout le personnel de l'ITGC : surtout Amie SALAH, Mme AAREM et Mme MADANI Pour leurs aides de réaliser ce modeste travail.

Nous tenons par la suite à adresser nos plus vifs remerciements à tous ceux qui ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de cet ouvrage, et plus particulièrement notre encadreur : Madame BENLEMMANE Samira, pour avoir toujours cru en nous, avoir su nous motiver et nous prodiguer les bons conseils. Enfin, nous n'oublions pas nos chers professeurs qui nous ont transmis leur savoir pendant toutes ces

Années d'études à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie ainsi que nos camarades de promotion.



Dédicace

C'est avec grande plaisir que je dédie ce travail

À mon précieux offre de dieu à qui je dois ma vie, ma réussite et tout respect : Mon cher père ABBAS MOUSSA CHAFI

À la femme qui souffert Sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse mon adorable mère NADJAI. K

À celle qui m'a tout donné Sans rien en retour et qu'elle m'a encouragé et soutenu dans mes moments à ma deuxième Maman NADJAI.F

À mes très chers Frères MOHAMED et ADEM

À tout ma famille ABBAS MOUSSA et NADJAI

À la famille DAOUDI Sans exception Surtout DAOUDI AHMED et sa femme NADJAI.R

À celle qui ne m'a pas quitté dans mon parcours académique, avec tous ses encouragements et sa Contribution à mes études, à ma sœur DAOUDI. F

Sans oublier mes trinômes BEN ARBIA AYOUB et BEN AHMED YASSINE pour ses soutiens moraux, sa patience et Sa compréhension tout au long de ce projet

À tous mes amis de promos de 2eme Master ACQ

À toute personne qui occupe une place dans Mon Cœur

IKRAM♡



Dédicace

Je dédie ce travail :

A mon très cher père

A ma chère défunte mère.

*Grâce à eux que je suis là. Et grâce à eux que je
serai loin. Vous restez toujours dans mon Cœur,*

A toute ma grande et petite famille

Mes proches amis

*Sauf n'oublier pas mes trinômes A tous mes
amis, mes collègues, à tous ce qui M'aiment. A
tous les gens qui nous ont aidés pour accomplir ce*

Travail.

Ayoub

Dédicace

En signe de l'affection et du grand amour que je vous porte, les mots sont insuffisants pour exprimer ma profonde estime.

Je vous dédie ce travail à mes chers parents, SALIM et NADIA pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études

A ma chère sœur IMENE pour sa encouragement permanent, et leur soutien moral

A mes chers frères BILEL et NABIL, pour leur appui et leur encouragement

A ma chère cousine ASMAA pour sa encouragement permanent, et leur soutien moral

A mes trinômes AYDUB et IKRAM pour ses soutiens moraux, sa patience et Sa compréhension tout au long de ce projet

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible, Merci d'être toujours là pour moi.

Yassine

Table des matières

Liste des tableaux :.....	
Table des Figures	
Liste des abréviations :	
Introduction.....	1
Partie I : Synthèse Bibliographique	
Chapitre I : Généralités sur le blé dur	
I.1 Historique du blé	3
I.2 Structure et Morphologie du grain de blé dur.....	3
I.3 Composition biochimique du blé dur :	6
I.4 Classification botanique de blé dur.....	8
I.5 Le cycle végétatif du blé :	9
I.5.1 La période végétative :	9
I.5.2 Période reproductrice.....	10
I.6. Facteurs qui influencent le rendement des cultures de blé dur :	12
I.7 Accidents du blé.....	13
I.8 Critère de qualité de blé dur.....	20
I.8.1 La qualité agronomique	20
I.8.2 La qualité alimentaire	21
I.8.3 La qualité technologique	21
I.9 Filière de production du blé en Algérie	23
Chapitre II : Transformation du blé dur :	
II Technologie de transformation du blé dur	35
II.1 La semoule	35
II.1.1 Définition et fabrication.....	35
II.1.2 L'industrie semoulière	36
II.1.3 Les types de semoule	36
II.1 .4 - Le process de Fabrication de la semoule.....	37
II.1.5 Valeur nutritionnelle de semoule	44
II.2 Le couscous	45
II.2.1 Définition.....	45
II.2.2 Historique :	46
II.2.3 Types de couscous.....	46
II.2.4 Transformation de la semoule en couscous	47
II.2.5 Notion de qualité de couscous	51
II.2.5.1 Qualité hygiénique.....	51

II.2.5.2 Qualité nutritionnelle	51
II.2.5.3 Qualité organoleptique.....	52
II.2.5.4 Qualité culinaire	52
Partie II : Etude expérimentale	
Chapitre I : Matériel et méthodes	
I.1. Objectifs de l'étude pratique :	56
I.2. Lieu et période du travail :	56
I.3- Matériels d'études	56
I.3.1 Matières premières	56
I.4- Méthodes d'analyses	57
I.4.1 Échantillonnage :	57
I.4.2 Les Méthodes d'analyses	57
A. Blé dur.....	57
B. Analyse de semoule	62
C. Analyse physicochimique de l'eau de process pour la fabrication du couscous	67
D. Analyse du couscous	69
Chapitre II : Résultats et discussion.....	
II.1. Résultats d'analyses de blé dur.....	77
II.1.1 Taux d'impuretés (agréage du blé) :	77
II.1.2 Taux du mitadinage	78
II.1.3 La teneur en eau	80
II.1.4 Le poids spécifique (PS).....	81
II.1.5 Le poids de 1000 grains (PMG).....	82
II.2. Résultats des analyses de semoule	85
II.2.1 La granulation	85
II.2.2 L'indice du gluten	87
II.2.3 L'indice de sédimentation en milieu SDS.....	89
II.2.4 La teneur en eau	91
II.2.5. Taux de cendres.....	92
II.3 Résultats d'analyse d'eau du process de couscous.....	94
II.4 Résultats d'analyses du couscous	95
II.4.1 Détermination des caractères organoleptiques.....	95
II.4.2 La granulation	95
II.4.3 La colorimétrie	97
II.4.4 Le gonflement du couscous.....	101
II.4.5 Test culinaire du couscous IPMT (méthode rapide de cuisson).....	105

II.4.6 La teneur en eau	107
II.4.7 Taux de cendres	108
II.4.8 Taux de protéines :.....	110
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	
ANNEXES.....	

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Composition biochimique de grain de blé (limites habituelles de variation)	6
Tableau 2 : Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé	7
Tableau 3 : Teneur moyenne du blé en vitamine (Mg/100 g de grain).	8
Tableau 4 : La classification du blé dur	9
Tableau 5 : Durée des différents stades de la croissance du blé	12
Tableau 6 : Statistiques de la production du blé dur en Algérie	23
Tableau 7 : Compositions indicatives des issues et des coproduits.....	37
Tableau 8 : Principaux matériels utilisés en semoulerie.	39
Tableau 9 : Différents types d'appareils à cylindres.	40
Tableau 10 : Compositions indicatives des issues et des coproduits.....	44
Tableau 11 : Composition moyenne de semoule	44
Tableau 12 : Plan d'échantillonnage	57
Tableau 13 : Teneurs maximales en impuretés	58
Tableau 14 : Résultats d'analyses d'eau de process de couscous.....	94
Tableau 15 : Résultats d'analyse des caractères organoleptiques de couscous cru	95
Tableau 16 : Norme interne de la colorimétrie	99

Table des Figures

Figure 1 : Schéma d'un grain de blé.....	5
Figure 2 : Coupe d'un grain de blé.....	5
Figure 3 : Constitution d'un grain de céréale.....	6
Figure 4 : Cycle de développement du blé.....	12
Figure 5 : Structure d'un Grain mitadiné.....	13
Figure 6 : Structure d'un grain moucheté.....	17
Figure 7 : Grains cassés ou Brisés.....	18
Figure 8 : Grains germés.....	18
Figure 9 : Grains échaudés.....	19
Figure 10 : Présence d'Ergot dans les grains de blé.....	20
Figure 11 : Semoule de blé dur	36
Figure 12 : Principe de fonctionnement d'un broyeur à cylindre.....	40
Figure 13 : Principe de la mouture du blé dur	42
Figure 14 : Diagramme de fabrication de semoule AMOUR.....	43
Figure 15 : Préparation de couscous artisanal	46
Figure 16 : Fabrication de couscous industriel.....	47
Figure 17 : Roulage et classification par taille des grains de couscous:(a) par plansichter ; (b) par tambour rotatif ou rouleur	49
Figure 18 : Process de fabrication du couscous industriel.....	51
Figure 19 : Diagramme de fabrication du couscous AMOUR.....	53
Figure 20 : Résultats d'analyses de taux impuretés (agréage du blé)	78
Figure 21 : Résultats de détermination de taux du mitadinage	79
Figure 22 : Résultats de détermination de la teneur en eau	80
Figure 23 : Résultats de détermination du poids spécifique	81
Figure 24 : Corrélacion entre le mitadinage et le poids spécifique	82
Figure 25 : Résultats de détermination du poids de 1000 grains (PMG)	83
Figure 26 : Corrélacion entre le mitadinage et poids de 1000 grains	84
Figure 27 : Résultats de la détermination de la granulation.....	86
Figure 28 : Résultats de détermination de l'indice du gluten	87
Figure 29 : Corrélacion entre le mitadinage et l'indice du gluten.....	89
Figure 30 : Résultat de détermination de l'indice de sédimentation en milieu SDS	90
Figure 31 : Corrélacion entre le mitadinage et la sédimentation	91
Figure 32 : Résultats de détermination de la teneur en eau	92
Figure 33 : Résultats de détermination du taux de cendres.....	93
Figure 34 : Corrélacion entre le mitadinage et le taux de cendre	94
Figure 35 : Résultats de la détermination de la granulation.....	97
Figure 36 : Résultats de détermination de la colorimétrie du couscous.....	98
Figure 37 : Corrélacion entre le mitadinage et la colorimétrie	100
Figure 38 : Résultats de détermination de gonflement du couscous (à froid)	101
Figure 39 : Corrélacion entre le mitadinage et le gonflement à froid	102
Figure 40 : Résultats de détermination de gonflement du couscous (à chaud)	103
Figure 41 : Corrélacion entre le mitadinage et le gonflement à chaud.....	104

Figure 42 : Résultats de détermination de test culinaire du couscous (IPMT)	106
Figure 43 : Corrélacion entre le mitadinage et IPMT.....	106
Figure 44 : Résultat de la détermination de la teneur en eau	107
Figure 45 : Corrélacion entre le mitadinage et la teneur en eau	108
Figure 46 : Résultats de détermination du taux de cendres.....	108
Figure 47 : Corrélacion entre le mitadinage et taux de la cendre	109
Figure 48 : Résultats de détermination de taux de protéines.....	111
Figure 49 : Corrélacion entre le mitadinage et le taux de protéine	112

Liste des abréviations :

Fig. : figure

GH : glutine humide

IPMT : indice de prise en masse par tamisage

JNO : La jaunisse nanisant de l'orge

MADR : Ministère de l'Agriculture, du développement rural

Max : maximum

MS : matière sèche

N : normalité

NB : nota bene

P : page

SDS : sodium-dodecyl sulfate

SSSE : semoule sassée super extra

SSSF : semoule sassée super fine

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TH : titre hydrotimétrique

Tr : tour

VMB : virus de la mosaïque du blé

VMJB : virus de la mosaïque jaune du blé

VJNO : virus de la jaunisse naissante de l'orge

Résumé :

L'objectif de ce travail est de déterminer l'effet de mitadinage du blé dur sur la qualité physicochimique et technologique des semoules et couscous.

Le mitadinage est un accident physiologique fréquent chez les blés durs. Il affecte la texture de l'albumen qui apparaît alors partiellement, voire totalement farineux. La conséquence majeure de ce phénomène est une baisse du rendement semoulier.

Pour atteindre notre objectif, nous avons réalisé notre PFE sur cinq (05) échantillons de blé dur, de semoule moyenne et du couscous industriel.

Les échantillons de blé dur étant prélevés à différent taux de mitadinage qui varient entre la valeur minimale 4.08 % et la valeur maximale 9.66 % autour d'une moyenne 7.21 % et un écart-type 2.37 (classe homogène) , pour mieux comprendre les corrélations entre le taux de grains mitadinés et les différents paramètres physicochimiques du couscous et semoule à savoir la teneur en eau, le taux de cendre, l'indice de gonflement, le test de cuisson, la teneur en protéines et la concentration en pigments.

Sur le plan physicochimique, tous les échantillons sont conformes aux normes algériennes ; codex et ISO. (Exemple la teneur en eau de blé dur varient entre la valeur minimale 10,07 % qui correspond à l'échantillon 03 et la valeur maximale 13.1 % qui correspond à l'échantillon 05).

Sur le plan technologique nous avons conclu que le taux de mitadinage joue un rôle prépondérant et peut influencer négativement sur la qualité du semoule et couscous et surtout la qualité culinaire du couscous. (Exemple le taux de protéine du couscous ; l'analyse de coefficient de corrélation « r » entre le taux de mitadinage et le taux de protéine montre que : $r = - 0.95$ qui signifie que le taux de protéine diminue en présence des taux de mitadinage élevés).

Mots clés : Mitadinage, blé dur, écart type, qualité, cendre, semoule, couscous, corrélation, physicochimique, codex et ISO.

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو تحديد تأثير تقسية القمح الصلب على الجودة الفيزيائية والكيميائية للتكنولوجيا للسميد والكسكس.

نثر القمح هو حادث فسيولوجي متكرر في القمح الصلب. إنه يؤثر على زلال القمح، والذي يظهر بعد ذلك جزئياً أو حتى بشكل ضئيل. النتيجة الرئيسية لهذه الظاهرة هي انخفاض محصول السميد.

لتحقيق هدفنا ، قمنا بتنفيذ PFE على خمس (05) عينات من القمح الصلب والسميد المتوسط والكسكس الصناعي.

يتم أخذ عينات من القمح الصلب بمعدلات مختلفة من التشتت والتي تتراوح بين القيمة الدنيا 4.08% والقيمة القصوى 9.66% حول متوسط 7.21% والانحراف المعياري 2.37 (فئة متجانسة) ، لفهم العلاقات المتبادلة بين المعدل بشكل أفضل من حبوب الميتادين والمعايير الفيزيائية والكيميائية المختلفة للكسكس والسميد ، وهي محتوى الماء ، ومعدل الرماد ، ومؤشر الانتفاخ ، واختبار الطهي ، ومحتوى البروتين ، وتركيز الصبغة.

على المستوى الفيزيائي الكيميائي ، جميع العينات مطابقة للمواصفات الجزائرية ؛ كودكس و ISO.

على المستوى التكنولوجي ، خلصنا إلى أن معدل الحضنة يلعب دوراً مرجحاً ويمكن أن يؤثر سلباً على جودة السميد والكسكس وخاصة جودة الطهي في الكسكس.

الكلمات المفتاحية: ميتادين ، قمح صلب ، انحراف معياري ، جودة ، رماد ، سميد ، كسكس ، ارتباط ، فيزيائي ، كيميائي ، كودكس ، ISO.

Summary:

The objective of this work is to determine the effect of non-vitreous kernel of durum wheat on the physicochemical and technological quality of semolina and couscous.

The non-vitreous kernel is a frequent physiological accident in durum wheat. It affects the texture of the albumen which then appears partially or even totally floury. The major consequence of this phenomenon is a decrease of the semolina yield.

To reach our objective, we carried out our project on five (05) samples of durum wheat, medium semolina and industrial couscous.

The samples of durum wheat were taken at different rates of non-vitreous kernel which vary between the minimum value 4.08% and the maximum value 9.66% around an average of 7.21% and a standard deviation of 2.37 (homogeneous class), to better understand the correlations between the rate of vitreous grains and the different physicochemical parameters of couscous and semolina namely the water content, the rate of ash, the swelling index, the cooking test, the protein content and the concentration of pigments.

On the physicochemical level, all the samples are in conformity with the Algerian standards; codex and ISO. (Example the water content of durum wheat varies between the minimum value 10.07 % which corresponds to sample 03 and the maximum value 13.1 % which corresponds to sample 05).

On the technological level we concluded that the rate of non-vitreous kernel plays a preponderant role and can influence negatively on the quality of semolina and couscous and especially the culinary quality of couscous. (Example the protein rate of couscous; the analysis of correlation coefficient "r" between the rate of non-vitreous kernel durum wheat and the protein rate shows that: $r = - 0.95$ which means that the protein rate decreases in the presence of high non-vitreous kernel durum wheat rates)

Key words: non-vitreous kernel, durum wheat, standard deviation, quality, ash, semolina, couscous, correlation, physicochemical, codex and ISO.

Introduction

Le blé est la céréale la plus cultivée dans le monde. Cette denrée tant appréciée, représente l'une des plus importantes ressources alimentaires de l'homme. Outre son importance économique et sociale, elle est aussi la principale source nutritive des pays sous-développés. **(ABIDI, 2009)**.

Il constitue une source majeure de nutriments pour les populations de nombreuses régions du monde. C'est une source importante de protéines, de glucides/fibres, de vitamine E, de plusieurs vitamines B et de sels minéraux. **(KHAN, 1996)**.

L'Algérie dispose d'énormes potentialités pour accroître d'avantage sa production en blé dur et dégager même des excédents à l'exportation lui permettant d'équilibrer sa balance céréalière. La superficie consacrée à la céréaliculture s'élève à 1,2 millions d'hectares avec une pluviométrie avoisinant les 400 mm par an, mais cette quantité d'eau n'est pas répartie de façon équilibrée à travers le territoire national. **(ANONYME 01)**. Durant la période 2010-2018, il a été marqué une évolution de production du blé dur qui se situe entre 18 à 31 millions de quintaux, soit une hausse de 58 %. **(ANONYME 02)**.

La consommation progressive du blé se présente dans la diversification des produits à base de cette matière première notamment du blé : semoule, pains, pâtes alimentaires traditionnelles et industrielles, etc. **(ITCF, 2001)**.

Parmi les pâtes traditionnelles, le couscous vient en tête des pâtes consommées par la famille algérienne. Le couscous était traditionnellement consommé en Afrique du Nord. La forte immigration maghrébine en Europe et en Amérique du Nord ainsi que le retour des colons contribuaient au développement international de ce produit. Dans le même temps, la demande suscitait l'industrialisation des processus de production dans plusieurs pays. **(BENLACHEHAB, 2008)**.

La qualité du couscous est un facteur prépondérant nécessitant un savoir-faire et une maîtrise de la technologie de la double transformation du blé d'une part et d'autre part la maîtrise des techniques agricole et le choix de bonnes variétés du blé ainsi que le recours à la biotechnologie pour améliorer le rendement des céréales.

En veillant sur la qualité du couscous, on doit tout d'abord mettre le point sur la qualité du blé dur : Il nous semble intéressant d'étudier l'un des accidents physiologiques qu'est le

mitadinage, c'est un accident qui a une grande importance tant pour le producteur qui subit des retenues sur les récoltes présentant cet accident pour l'industriel qui doit travailler sur les produits provenant du blé dur. **(BERKE, 1966)**.

L'importance industrielle du mitadinage tient en effet, que les grains atteints ont tendance à s'effriter à la mouture et à donner non pas de la semoule « produit normal du blé dur destiné en particulier, à la fabrication des pâtes alimentaires » mais une semoule de qualité inférieure à celle donnée par le blé dur, dit le gruau. **(BERKE, 1966)**.

La problématique qui se pose est : Est-ce que le taux de mitadinage influe directement sur la qualité du couscous ?

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui a pour objectif de démontrer l'effet de mitadinage du blé dur sur la qualité du couscous.

Partie I

Synthèse Bibliographique

Chapitre I

Généralités sur le blé dur

I.1 Historique du blé

Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. La saga du blé accompagne celle de l'homme et de l'agriculture, sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née en Europe il y a 8000 ans. La plus ancienne culture semble être le blé dur dans le croissant fertile de la Mésopotamie (**FEILLET, 2000**).

Depuis la naissance de l'agriculture, le blé est la base de la nourriture de l'homme (**RUEL, 2006**), c'est une espèce connue depuis la plus haute antiquité, dont il constitue la base alimentaire des populations du globe (**YVES et BUYSER, 2001**). Pendant plusieurs siècles, il a été vénéré comme un dieu et associé à la pluie, l'agriculture et la fécondité (**RUEL, 2006**).

La découverte du blé remonte à 15000 ans avant Jésus-Christ dans la région du croissant fertile, vaste territoire comprenant, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie, de l'Iraq, et la bordure Ouest de l'Iran (**FELDMAN et SEARS, 1981**). C'était à une époque où l'homme pratiquait déjà la cueillette et faisait ses débuts comme agriculteur. Cette période coïncidait avec un épisode climatique sec, aboutissant à l'arrêt du mode de vie de "chasseur-cueilleur", et engendrant la domestication progressive des plantes, associée à la création des premières communautés villageoises. (**WADLEY et MARTIN, 1993**).

I.2 Structure et Morphologie du grain de blé dur

Le blé dur - ce qu'on appelle scientifiquement *triticum durum* est une matière première stratégique pour la production de semoule et de pâtes rondes en plus du couscous. Il se distingue du blé tendre par des caractéristiques technologiques, morphologiques, physiologiques et cellulaires. C'est le seul qui contient des pigments caroténoïdes en nombre suffisant pour donner la couleur jaune appropriée à la présentation finale du produit. Il a une grande résistance à la cuisson grâce à sa teneur en gluten. Ces dernières qualités sont à la base pour le rendre plus consommant.

I.2.1 Aspect extérieur

Le blé (*triticum sp.*) est une graminée annuelle des zones tempérées et des zones subtropicales. Plusieurs espèces cultivées subspontanées et spontanées ont été décrites. C'est une plante herbacée annuelle monocotylédone, aux feuilles longues étroite et glabre, possédant un épi compact, barbu à glumes longue fortement carénées, un grain dur allongé et à texture vitreuse et à brosse peu développée. (**HAMADACHE, 2013**)

Le grain de blé varie beaucoup dans sa forme, ses dimensions et sa couleur. La longueur du grain est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4 mm, son épaisseur entre 2,5 et 3,5 mm, sa section longitudinale entre 10 et 16 mm², sa section transversale entre 4 et 7,5 mm², son poids entre 20 et 50 mg et sa densité entre 1,3 et 1,4 La couleur des blés varie du roux au blanc. (FEILLET, 2000).

I.2.2 Aspect intérieur

Le grain de blé se compose de trois parties de l'extérieure vers l'intérieure : l'enveloppe, l'amande farineuse et le germe. (Fig 01, 02 et 03)

- 1- L'enveloppe** : Elle représente environ 14 à 15 % du poids du grain, comprend ;
 - Le péricarpe, enveloppe du fruit.
 - Le tégument de la graine ou « testa », et le tégument du nucelle ou « bande hyaline »
 - L'assise protéique (60% du poids des enveloppes) constituée de cellules à aleurones, riche en protéines : (SOLTNER, 1987)
- 2- L'albumen ou amande farineux** : C'est ce qu'on appelle un endosperme, il est constitué principalement d'une matière de base qui devient farine après transformation. Riche en amidon lié aux protéines et au gluten. Il représente 81 % à 88 % du poids du grain de blé. Il donne la farine ou la semoule après la mouture de grain. (HAMADACHE, 2013).
- 3- Germe ou embryon** : Il constitue la future plante et assure l'identité génétique de la variété (BOUDREAU, 1992). Il représente 3% du poids d'un grain de blé ; le germe est composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum (FEILLET, 2000).

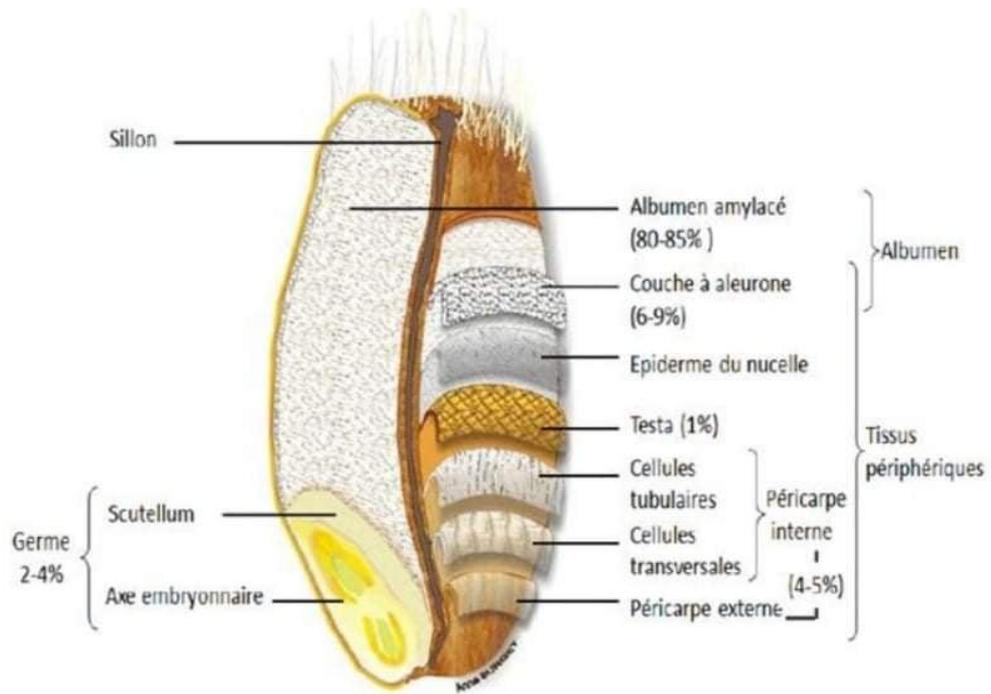


Figure 1 : Schéma d'un grain de blé (ABECASSIS et al, 2021)

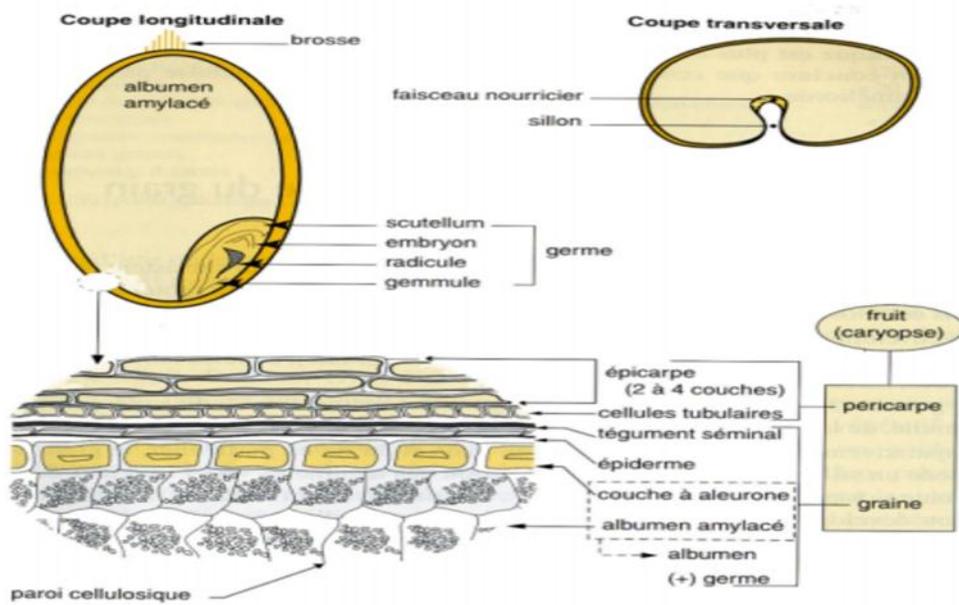


Figure 2 : Coupe d'un grain de blé (FEILLET, 2000)

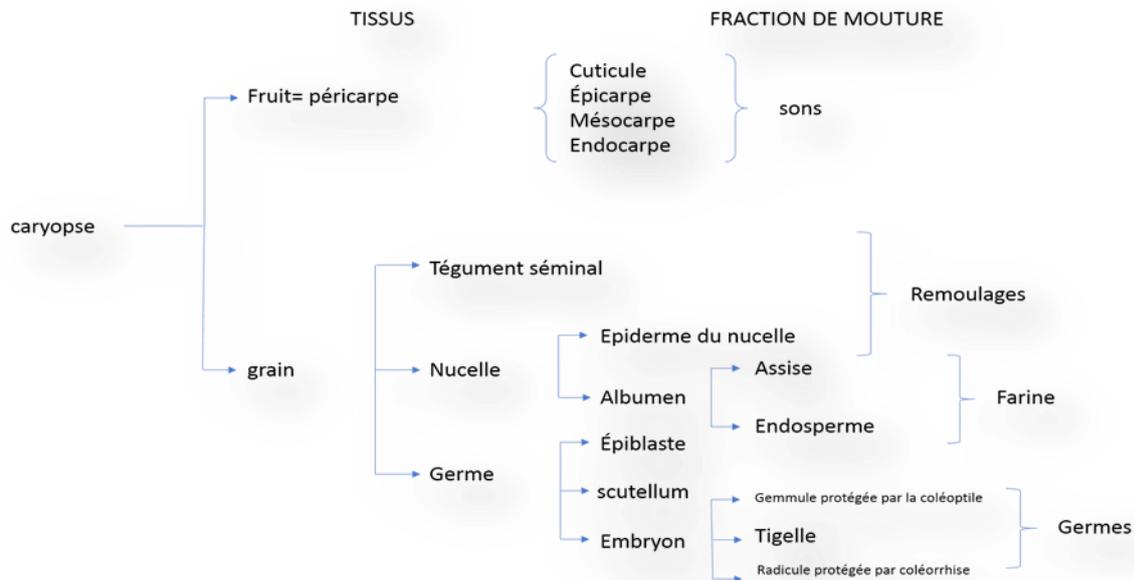


Figure 3 : Constitution d'un grain de céréale (GODON et WILLM, 1991).

I.3 Composition biochimique du blé dur :

Le grain du blé est principalement constitué d'amidon (environ 70 %), de protéines (environ 10 à 15 %), selon les variétés et les conditions de culture (l'albumine, globuline, prolamine et gluténine), de pentosanes (8 à 10 %) ; les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques pourcentages seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux. **(Tableau 1). (FEILLET 2000).**

Tableau 1 : Composition biochimique de grain de blé (limites habituelles de variation)

Nature des compositions	Teneures % matière sèche
Protéines	10 - 15
Amidon	67 - 71
Pentosanes	8 - 10
Celluloses	2 - 4

Sucre libre	2 - 3
Lipides	2 - 3
Matières minérales	1.5 - 2.5

Ces constituants se répartissent de manière inégale au sein des différentes fractions histologiques du grain. L'amidon se retrouve en totalité dans l'albumen amylicé, les teneurs en protéines du germe et de la couche à aleurone sont particulièrement élevées. Les matières minérales abondant dans la couche à aleurone, les pentosanes sont les constituants dominants de cette dernière et du péricarpe, la cellulose représente près de la moitié du celui-ci, les lipides voisinent ou dépassent les 10 % dans le germe et dans la couche à aleurone (**Tableau 2**). (**FEILLET 2000**).

Compte tenu du fait que ce sont les parties périphériques de la graine, tégument séminal et assise protéique (ou couche à aleurone), qui sont les plus riches en matières minérales et, qu'à l'inverse, l'albumen amylicé n'en contient qu'environ 0,5 %. (**FEILLET, 2000**).

Tableau 2 : Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé (FEILLET, 2000)

	Grain	Péricarpe (01)		Aleurone		Albumen		Germe	
	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G
Protéine	13.5	10	4.4	30	15.3	12.0	73.5	31	6.8
Lipides	2.7	0	0	9	23.6	2	62.9	12	13.5
Amidon	68.9	0	0	0	0	82	100	0	0
Sucres réducteurs	2.4	0	0	0	0	1.8	62.7	30	37.3
Pentosanes	7.4	43	35.1	46	43.8	1.6	18.3	7	2.9
Cellulose	2.8	40	87.1	3	7.6	0.1	3.1	2	2.2
Minéraux	1.9	7	22.6	12	43.6	0.5	22.6	6	9.7

% G = % du constituant dans le grain ; % T= % du constituant dans le tissu.

(1) : % du tissu dans le grain

Ces valeurs sont indicatives.

- **Les vitamines**

Les grains de céréales contiennent 03 vitamines ; la vitamine B1 (thiamine), la vitamine B 2 (riboflavine), la vitamine PP (niacine). Mais d'autres vitamines sont aussi présentes dans les grains des céréales comme la vitamine B 6, l'acide pantothénique, la vitamine E (α - tocophérol) (**Tableau 3**). (GODON ET WILLM, 1991).

Tableau 3 : Teneur moyenne du blé en vitamine (Mg/100 g de grain).

Vitamines Espèce	Thiamine	Riboflavine	Niacine	Acide pantothénique	Pyridoxine (B 6)	Tocophérol (E)
Blé	0.52	0.12	6.00	0.35	0.50	2.00

- **Les pigments**

Les pigments présents dans le grain du blé sont principalement des caroténoïdes. Ce sont des pigments liposolubles, ils se répartissent entre le son, l'albumen et le germe. Responsable de la couleur jaune recherché dans les semoules et les pâtes alimentaires (**FRANCONIE et al, 2010**)

La teneur en caroténoïdes diffère d'une variété à l'autre, il peut varier de 0.79 $\mu\text{g/g}$ jusqu'au 4 $\mu\text{g/g}$. (**KHAN, 1996**)

I.4 Classification botanique de blé dur

La taxonomie du blé présente les caractéristiques génétiques et morphologiques du blé qui influencent sa classification et donnent les noms botaniques du blé les plus courants dans l'usage actuel. Pendant 10 000 ans de culture, de nombreuses formes de blé ont été évoluées sous l'effet de la sélection par l'homme. Cette diversité s'est traduite par une grande confusion dans la dénomination des blés. (**Tableau 4**).

Tableau 4 : La classification du blé dur (FEILLET, 2000)

Famille	<i>Graminae</i>
Sous Famille	<i>Festucoideae</i>
Tribu	<i>Triticeae Aveneae</i>
Sous tribu	<i>Triticinae</i>
Genre	<i>Triticum</i>
Nom commun (espèce)	<i>Triticum durum</i>

I.5 Le cycle végétatif du blé :

Selon **SOLTNER, 1987**, le cycle végétatif est un cycle annuel, une série d'étapes séparées par des stades repères permettent de le diviser en deux périodes :

- 1) La période végétative ; durant laquelle la plante ne différencie que des feuilles et des racines.
- 2) La période reproductrice ; dominée par l'apparition de l'épis et la formation du grain.

(Tableau 05) et Fig 04.

I.5.1 La période végétative : (de la germination à l'ébauche de l'épi).

1/ La phase de germination et de levée :

Cette phase commence par le passage de la graine de l'état de vie lente à l'état de vie active lors de la germination, en envoyant les racines primaires équipées de poils absorbants en condensant le coléorhize en une masse blanche qui conduit à casser la graine au niveau des spores, pour produire l'émergence de la première feuille fonctionnelle qui s'allonge vers la surface de la coléoptile et c'est l'émergence et suit la deuxième et troisième feuille bien après.

La durée de germination varie selon le cycle de température : bien que le blé puisse germer dès que la température dépasse 0°C (on dit que le zéro de végétation, du blé est à 0 °C), 8 à 10 jours sont nécessaires en minimum pour les semis précoces, le plus souvent 15 à 20 jours, et même d'avantage pour les semis tardifs d'hiver (**SOLTNER, 1987**).

2/ Tallage

Comprend 3 changements : la formation du plateau de tallage, la résurgence du tallage et l'émergence de nouvelles racines. (SOLTNER, 1987).

Il commence après le développement de la troisième feuille et l'émergence de la fin de la première feuille, dans laquelle la première charrue se formera à sa base, et la seconde se formera à la base de la deuxième feuille, et ainsi de suite. Le plateau de labour est formé par l'émergence du labour par l'émergence du labour secondaire qui se génère sous les aisselles des première et seconde feuille.

L'ajustement du nombre, de la vitesse et de la durée du travail du sol dépendra des éléments nutritifs et du climat. La fin du tallage représente la fin de la période végétative et le début de la période de reproduction, qui nécessite la présence de lumière.

I.5.2 Période reproductrice : (la formation et la croissance de l'épi)

Elle est caractérisée par six stades :

1/ Le stade A ou l'ébauche de l'épi :

C'est un stade qui porte une transition essentielle dans la vie du blé : il marque la transformation du bourgeon végétatif, qui jusque-là ne formait que des ébauches de feuilles, en bourgeon floral. On dit que c'est l'initiation florale

2/Stade B :

Il marque la fin du tallage et le début de la montaison, au moment où, sur le jeune épi, s'amorce la formation des glumes, la croissance des talles est stoppée.

La durée du stade A et B varie de 30 à 60 jours selon la date du semi et la variété. (SOLTNER,1987).

3/Montaison et gonflement (B, C, D) :

C'est un stade où les épis se détaillent et des renflements. Les entrenœuds d'un certain nombre de talles herbacées s'allongent très rapidement tandis que sur le dernier nœud s'élève l'épi continuant à se former.

La durée de cette phase dure de 28 à 30 jours. Elle se termine au moment de la différenciation des stigmates des fleurs, stade plus facilement repérable par le gonflement que provoque l'épi qui s'apparait à émerger de la gaine des dernières feuilles. (SOLTNER,1987).

4/Épiaison et fécondation (E et F) :

Cette nouvelle étape à également une durée peu variable : 32 jours environ. C'est au cours de cette période que s'achève la formation des organes floraux et que s'effectue la fécondation, sans que rien ne vienne signaler cette pollinisation interne. Ce n'est qu'ensuite que le filet de chaque étamine s'allongera, faisant apparaître les anthères hors des glumelles : c'est la floraison, ou plutôt la "défloraison". Le nombre de fleurs fécondées au cours de cette troisième période critique dépendra de la nutrition azotée disponible et d'une évapotranspiration pas trop élevée.

5/Le grossissement du grain (croissance de l'ovaire) :

Il s'agit d'une phase d'intense activité de la photosynthèse. Comme il n'y a plus de croissance des feuilles et des tiges, la matière sèche synthétisée dans les feuilles est entièrement destinée à l'accumulation des réserves. Mais à la fin de cette courte phase de 15 à 18 jours, 40 à 50 % seulement de ces réserves se sont accumulées dans le grain. Celui-ci, bien qu'ayant sa taille définitive, est mou et encore vert. C'est le stade "grain laiteux". L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles, qui commencent bientôt à jaunir.

6/La maturation et le remplissage du grain : (M0 et M) :

Dernière phase du cycle végétatif, la maturation correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains puis à leur perte d'humidité qui va jouer un rôle capital sur le rendement. Le grain va recevoir l'amidon provenant un peu de la photosynthèse dite nette, et surtout de la migration des réserves accumulées dans les feuilles et les tiges jaunissantes, mais non séchées. Cette migration nécessite une circulation d'eau dans la plante, la plante se dessèche brusquement sans que les réserves aient eu le temps de migrer.

Au-delà de cette période critique, le grain ne perdra que l'excès d'eau qu'il contient. Il passera du stade "pâteux" (45 % d'humidité) au stade "rayable à l'ongle" (20 %), stade optimum pour une récolte à la lieuse, puis au stade "cassant sous la dent" (15 à 16 %). Il est alors mûr pour la récolte à la moissonneuse-batteuse. (SOLTNER, 1987).

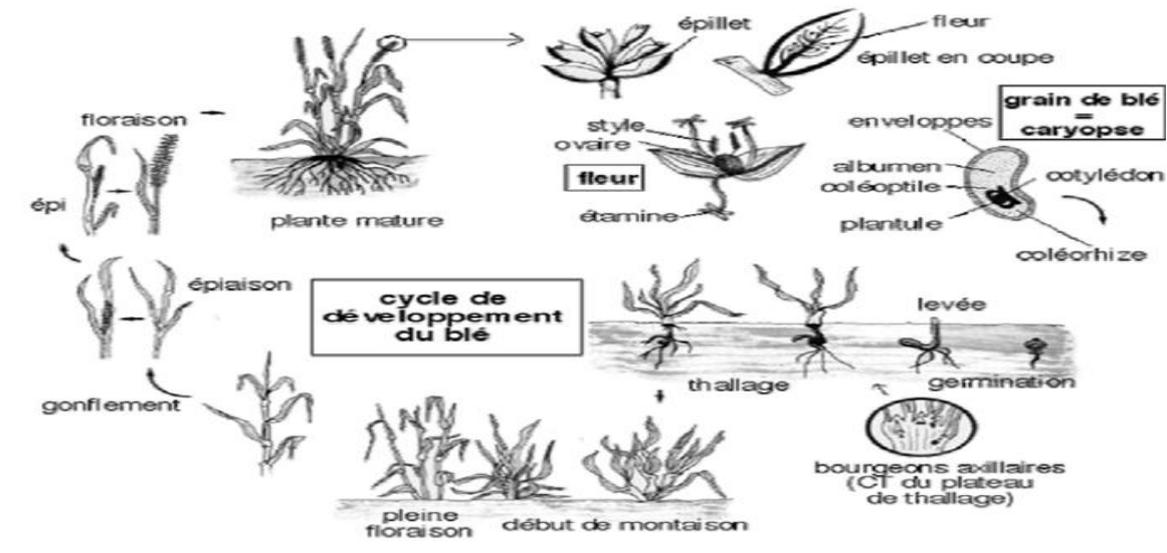


Figure 4 : Cycle de développement du blé, (ANONYME 03)

Tableau 5 : Durée des différents stades de la croissance du blé (ANONYME 04)

Différentes Stades	Germination- Levée	Tallage	Montaison	Épiaison	Floraison	Formation De grain
Durée approximative(jour)	20	60	30	30	15	45

I.6. Facteurs qui influencent le rendement des cultures de blé dur :

Il existe une variété de facteurs associés au rendement des cultures et aux risques agricoles. Les facteurs les plus importants qui influencent le rendement des cultures sont la température, l'eau, le sol, la lumière, Fertilisation, l'oxygène, La taille des grains, Profondeur de plantation ...etc. Ces facteurs peuvent présenter un risque important pour les exploitations agricoles lorsqu'ils ne sont pas surveillés et gérés correctement.

I.7 Accidents du blé

A- Mitadinage

A-1 Définition

Le mitadinage est un accident qui affecte les blés à grain corné, blé durs et blés tendres de force : Le grain de blé dur est normalement entièrement vitreux. Un grain mitadiné présente à la coupe une ou plusieurs plages farineuses et a tendance, lors de la mouture, à se désagréger en farine et non à éclater en semoule, provoquant une diminution du rendement semoulier et c'est la proportion de ces plages, dans l'ensemble de la surface d'endosperme examiné de l'échantillon, que l'on appelle taux de mitadinage mesuré. (ANONYME 05). (Fig 05)

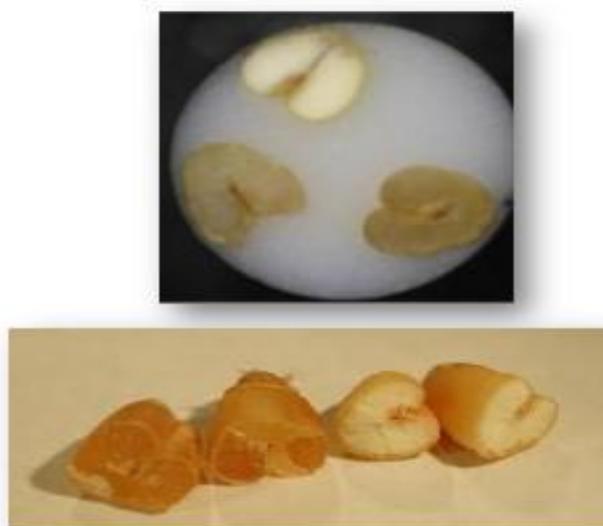


Figure 5 : Structure d'un Grain mitadiné.

A.2 Différence entre le Mitadinage et lavage

Chez le blé dur, il existe un autre accident qui ressemble au mitadinage, c'est ce que l'on appelle le "lavage", il convient donc de faire une différence entre le grain mitadiné et le grain lavé. Le grain de blé lavé se différencie du grain sain par la coloration jaune pâle à blanche de son tégument, son opacité apparente et la présence de plages blanchâtre, plus ou moins accusées et développées à l'intérieur de son endosperme.

La différence essentielle entre les deux accidents est que le mitadinage est un accident "**physiologique**" survenant au cours de la maturation du blé, alors que le lavage est un accident

"**physique**" provoqué par les pluies lorsque le blé a terminé sa végétation (à maturité dure). On peut obtenir le lavage par tramage de grains sains, normalement secs et bien mûris. (ANONYME, 05).

Le mitadinage est lié de façon extrêmement étroite à la teneur en matière azotée. Cette relation se trouve d'ailleurs dans la structure du grain lui-même ; dans un grain partiellement mitadiné, c'est le Pourtour de l'endosperme plus riche en matière azotée que l'intérieur qui est corné. Le mitadinage est en corrélation étroite (et paraissant à peu près indépendante de la variété), avec la teneur en protéines de l'amande ; (BERKE, 1966).

Il s'agit de savoir quelles sont les causes de cette déficience en matières azotées. La texture de l'albumen est sous la dépendance de facteurs génétiques propres à la lignée et des conditions de milieu au cours de la floraison et au début de la maturation. Ces conditions externes sont prépondérantes puisqu'il est possible de faire varier pour une lignée donnée le pourcentage de texture vitreuse de 0 à 100". Il existe donc deux facteurs principaux intervenant dans le mitadinage, d'une part la valeur génétique de la lignée et d'autre part les conditions extérieures (Rôle des pluies et de l'alimentation azotée). (BERKE, 1966).

A.3 L'importance industrielle du mitadinage

L'importance industrielle du mitadinage tient, en effet, au fait que les grains atteints ont tendance à s'effriter à la mouture et à donner non pas de la semoule, produit normal du blé dur (destiné, en particulier, à la fabrication des pâtes alimentaires) mais une farine de qualité inférieure à celle donnée par le blé tendre, dite gruau.

A.4 Causes du mitadinage

- **Les pluies**

Plusieurs expérimentations ont prouvé que les lots de blés durs mitadinés proviennent des Régions pluvieuses. Les effets par l'examen de blé de provenances diverses, des régions basses, humides pluvieuses ou littorales étant en général plus atteints que ceux des régions élevées et sèches.

L'humidité du sol durant la maturation jouerait un rôle déterminant. Au point de vue pratique, on peut conclure de ces diverses études qu'il ne faut jamais irriguer après l'épiaison et que les fortes pluies survenant durant la maturation ont un effet défavorable en ce qui concerne le mitadinage. (BERKE, 1966).

- **Les vents et des coups de chaleur durant la maturation :**

Les coups de chaleur pendant la maturation (sirroco et chergui) qui provoquent l'échaudage, n'engendrent pas le mitadinage. Il n'existe pas de corrélation Inverse entre le mitadinage et l'échaudage. On peut donc en conclure que le mitadinage n'est jamais favorisé par les phénomènes provoquant l'échaudage, qui est un accident dépréciant également la qualité des grains. (BERKE, 1966).

- **L'alimentation azotée :**

La nutrition azotée soit toujours dans la première place dans le mitadinage. Il existe une corrélation étroite entre le rendement et le mitadinage, sauf lorsque le facteur Variable est l'azote : l'épuisement de la terre en nitrate par culture continue ou par lessivage, indique très nettement que le mitadinage est dû à une carence susceptible, au-delà d'un certain niveau, d'affecter gravement la récolte.

En effet, le mitadinage résulte (ou au moins qu'il peut résulter) d'un défaut de la nutrition azotée de la plante au cours d'une période qui se termine sensiblement au moment de la floraison et que la date de la fin de cette période est en relation avec la réaction particulière de la variété. À l'intérieur de certaines limites, une nutrition azotée suffisante commence par déterminer un rendement satisfaisant en grain et n'influe qu'ensuite sur la teneur en protéines de ces grains.

Un blé résistant utilise d'abord son azote à constituer des protéines de la qualité optimum, alors qu'un blé sensible ne procède à ce "perfectionnement" qu'une fois obtenu le rendement maximum. (BERKE, 1966).

On peut donc déduire que le mitadinage est dû à :

L'alimentation azotée : Le mitadinage est dû principalement au manque d'azote, celui-ci étant en relation avec la pluviométrie, de ce fait dans les régions pluvieuses dites « mitadinantes », il est toujours conseillé d'employer des variétés moins sensibles.

Les pluies par compactage des sols et par lessivage empêchent la formation d'azote minéral indispensable pour assurer à la fois le rendement optimum et la meilleure qualité possible. Le cas des hauts plateaux algériens est intéressant, dans ces régions à faible pluviométrie et à bas rendement on n'observe pratiquement pas de mitadinage ; cela tient au fait que le peu d'azote minéralisable ne subissant pas ou peu de lessivage est capable d'assurer à la fois la qualité et le rendement qui est toujours faible. Cet azote étant présent en particulier à la fin de la végétation du blé ou il est nécessaire pour obtenir une récolte indemne de mitadinage.

L'agriculteur par des apports tardifs d'azote peut corriger le rôle néfaste des pluies trop tardives et obtenir ainsi des récoltes de meilleure qualité tout en améliorant le rendement. Des apports tardifs d'azote permettent de diminuer le mitadinage tout en augmentant les rendements.

- **La valeur génétique propre à la lignée**

La mise au point de variétés moins sensibles est certainement réalisable, elle implique plusieurs conditions,

- Étude d'une collection permettant de dégager les lignées les plus résistantes pouvant servir de géniteurs ;
- Réunir les lignées en étude, en particulier les jeunes générations dans les zones les plus propices au mitadinage, ou provoquer le mitadinage dans les pépinières en ne mettant jamais d'azote avec une irrigation, si possible en fin de végétation ;
- La pression de sélection pour ce caractère ne devra pas être trop forte, car on peut diminuer par des façons culturales appropriées (apport tardif d'azote) le taux de mitadinage, on se bornera donc à éliminer les lignées les plus sensibles. (ANONYME, 05)

A.5 Caractéristiques technologiques du blé :

- **Résistance au mitadinage.**

Les variétés de blé dur présentent des niveaux très différents de comportement à l'égard du mitadinage. Les variétés résistantes ou peu sensibles proviennent toutes du bassin méditerranéen occidental, où le climat est favorable au mitadinage, et appartiennent à la sous-espèce *T. durum* méditerranéenne ; (ex : "Oued Zenati", "Bidi 17"). Par contre, les variétés les plus sensibles sont d'origine russe et américaine ; d'une façon générale, elles sont issues de régions à climat continental, où le mitadinage est rare.

La grande résistance au mitadinage serait à la combinaison de plusieurs caractéristiques variétales :

- Aptitude à produire un grain riche en protéines ;
- Tendance à accumuler rapidement de l'azote au cours des premières phases de développement du grain, (phase du palier hydrique notamment) ;
- Aptitude à élaborer un gluten élastique et tenace. (BERKE, 1966).

- **Aptitude à donner des pâtes jaunes et claires.**

Les principaux facteurs déterminant la couleur des pâtes sont la teneur en pigments caroténoïdes de la semoule, et l'activité des lipoxydases détruisant ces pigments au cours de la fabrication de la pâte. Par rapport à l'effet variété, les conditions de culture ont relativement peu d'influence sur ces caractéristiques aucune variété n'associe malheureusement. La résistance au mitadinage est bonne aptitude à la coloration des pâtes : il existe, en effet, une liaison très étroite et négative entre tenacité du gluten et indice de coloration. Jaune ; seuls les caractères « grain riche en protéines peu tenaces » et « indices de couleur » peuvent être réunis sur une même variété. (BERKE, 1966).

- **Objectifs d'amélioration du blé.**

Compte tenu de leur caractéristique présente, les objectifs d'amélioration des variétés intéressent :

- La résistance à la verse, dont l'élévation du niveau permettrait d'accroître la fumure azotée, et donc de mieux lutter contre le mitadinage ;
- La capacité de tallage ;
- La résistance aux parasites (fusarioses, rouille jaune) et à l'humidité ;
- La qualité technologique : résistance au mitadinage, coloration des pâtes (ANONYME,05)

B) Grains mouchetés

Ils présentent à la surface des taches brunes ou noires plus ou moins grandes qui provoquent des points noirs dans la semoule et les pâtes alimentaires. Ils affectent ainsi la valeur commerciale du produit fini. Dans l'état actuel des connaissances, on pense que la moucheture du blé dur traduit une réaction de défense de la plante à des stress multiples. Toutes les variétés n'ont pas le même degré de sensibilité à ce dommage (Fig 06). (ITCF, 2001).



Figure 6 : Structure d'un grain moucheté.

C) Grains cassés ou brisés

D'un point de vue qualité, la présence de grains cassés altère les rendements meuniers du blé tendre, semoulier du blé dur et du maïs, brassicole de l'orge, ou amidonnier du maïs. En effet, d'une part, ils sont éliminés au cours du nettoyage précédant la mouture et, d'autre part, lors par exemple de la fabrication de semoule de blé dur ou de maïs, ils conduisent à une proportion importante de farine. La présence de grains cassés pose également des problèmes de conservation. Ils sont plus exposés aux phénomènes d'oxydation, ce qui entraîne une accélération de la dégradation biochimique des constituants du grain. Par ailleurs, ils sont plus accessibles aux attaques des insectes et des moisissures (**Fig 07**). (**ITCF, 2001**).



Figure 7 : Grains cassés ou Brisés.

D) Grains germés

Ce sont des grains qui, au cours de la maturation ont subi des conditions de température et d'humidité favorables au démarrage des activités enzymatiques propres à la germination. Le climat joue un rôle dominant sur l'expression de la germination sur pied (**Fig 08**).

Au cours de la germination, l'activité des enzymes augmente ; en particulier celle de l'amylase qui contribue à la dégradation de l'amidon en sucres simples assimilables par la plantule pour son développement. (**ITCF, 2001**).



Figure 8 : Grains germés.

E) Grains échaudés et petits grains

Ce sont des grains desséchés avant maturation à la suite d'un défaut d'alimentation en eau. Celui-ci peut être dû à un déséquilibre entre l'arrivée d'eau dans le grain et l'évaporation à la suite d'une très forte chaleur, supérieure à 28°C au cours de la maturation (échaudage physiologique).

Il peut aussi être causé par toutes les maladies attaquant les racines, les feuilles, les tiges et même les glumes ; on cite en particulier le piétin, la septoriose, la fusariose, les rouilles (échaudage pathologique).

Les grains échaudés sont rabougris, ridés, déformés, conséquence du mauvais remplissage. Par ailleurs, sans qu'il y ait forcément échaudage, les grains peuvent être petits. La présence de grains échaudés a une incidence sur le rendement en mouture qui diminue, du fait de l'élimination mécanique des petits grains lors des phases de nettoyage et du mauvais remplissage de ses grains. La masse à l'hectolitre (ou Poids Spécifique) est également affectée (**Fig 09**). (ITCF, 2001).



Figure 9 : Grains échaudés.

F) Graines étrangères

Les méthodes de recherche des impuretés n'imposent pas la détermination de ces graines, mais uniquement une séparation. (ITCF, 2001).

G) Ergot

C'est un sclérote, c'est-à-dire un *mycelium* condensé, constituant l'organe de vie latente d'un champignon parasite des graminées, *Claviceps purpurea*. On trouve l'ergot sur le blé tendre, le blé dur, le seigle et le triticale. L'ergot contient des amines qui lui donnent une odeur nauséabonde qui se communique aux produits cuits. Il contient aussi des alcaloïdes dont l'ergotine, auxquels il doit sa

toxicité : effets vasoconstricteurs qui peuvent aller jusqu'à la gangrène des extrémités et aux hallucinations (« mal des ardents » du Moyen-Age). Cette action vasoconstrictive de l'ergotine est actuellement employée dans le domaine pharmaceutique. L'ergot se présente comme une masse oblongue noire-violacée de 10 à 35 mm de long sur 4 à 8 mm d'épaisseur. Elle est légèrement arquée, marquée d'un sillon longitudinal. Sa forme générale est celle d'une minuscule banane noire. Sa structure interne est grenue, dense et de couleur blanc grisâtre (**Fig 10**). (**ITCF, 2001**).



Figure 10 : Présence d'Ergot dans les grains de blé.

I.8 Critère de qualité de blé dur

L'influence de la composition des grains sur la qualité du blé dur et de ses produits est un sujet trop important et vaste pour être traité de manière exhaustive ; les rapports de recherche publiés ces dernières années sur cet aspect sont trop nombreux pour être pleinement pris en compte et pour considérer les innovations dans les méthodologies d'analyse et de traitement qui ont permis d'améliorer les connaissances sur ce sujet. Par conséquent, cette revue est partielle et limitée par rapport à ce qui a été fait par les chercheurs des différents pays. (**ABECASSIS et al 2021**)

Elle comprend plusieurs aspects qui dépendent d'une étape particulière (production, stockage et transformation).

I.8.1 La qualité agronomique

La qualité de la récolte est un élément essentiel de rentabilité et dépend de la facilité d'écoulement et du prix effectivement payé ; elle est essentielle pour que les agriculteurs obtiennent des rendements élevés et de qualité. Un contrôle qualité doit être effectué régulièrement pendant et à la fin de chaque campagne.

I.8.2 La qualité alimentaire

La qualité alimentaire du blé dur dépend essentiellement de trois principaux types :

I.8.2.1 La qualité organoleptique :

Les méthodes d'évaluation de la qualité du blé dur ont été considérées du point de vue organoleptique par le consommateur final de la pâte alimentaire qui est issue du blé, c'est-à-dire l'aspect avant cuisson et la tenue après cuisson. Il apparaît que la couleur d'une pâte est essentiellement une composante phénotypique du blé mis en œuvre. **(DI FONZO et al, 1995)**

I.8.2.2 La qualité hygiénique et sanitaire

Dans la mesure où le permettent les bonnes pratiques de fabrication, les grains de blé dur doivent être nettoyés, exempt de matières indésirables. Lorsqu'il est soumis à des méthodes appropriées d'échantillonnage et d'examen, le produit, après nettoyage et tri, et avant transformation ultérieure, doit être exempt de :

- Microorganismes en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé ;
- Parasites susceptibles de présenter un risque pour la santé ;
- Substances provenant de microorganismes

(CODEX STAN 202-1995)

I.8.2.3 La qualité nutritionnelle

Le grain de blé constitue l'organe de réserve de la plante par sa richesse en amidon, il possède une teneur élevée en énergie et représente (20%), des calories du régime alimentaire.

Le blé contribue aussi à un apport protéique notable il possède en effet un complexe protéique (gluten) d'une valeur calorique basse mais valorisé par la qualité de l'albumine et la globuline.

I.8.3 La qualité technologique

I.8.3.1 La valeur semoulière

Elle dépend d'un grand nombre de facteurs qui déterminent le comportement des blés durs en mouture.

➤ **Facteur extrinsèque :** (qualité commerciale) dépend des conditions de culture et récolte comporte : Les impuretés, teneur en eau, grains cassés...

➤ **Facteurs intrinsèques :** (qualité technologique) dépend du nature e blé mise en œuvre comportent :

- Rapport amande/enveloppe : qui est fonction de l'épaisseur des enveloppes, de la forme du grain et de son degré d'échaudage. **(FEILLET, 2000)**
- Friabilité de l'amande
- Facilité de séparer l'amande des enveloppes

➤ **Facteur règlementaire** : Les blés commercialisés sont des produits biologiques qui obéissent à des critères de qualité rigoureux. Les blés locaux comme les blés importés et l'ensemble de la gamme des produits transformés sont contrôlés aux différents stades de la filière. Avant d'être commercialisés, les blés passent en effet par plusieurs phases au cours desquelles ils font l'objet de nombreuses manipulations. Depuis la production et l'importation des grains jusqu'à la phase de consommation, en passant par les différents réseaux de transformation, de stockage et de distribution, les blés subissent des procédures d'agrèage et de contrôle de la qualité biologique et alimentaire. Car conformément à la réglementation internationale, un lot de blé idéal doit être sain, loyal et marchand, c'est-à-dire qu'il doit être indemne de toute souillure, de tout parasitisme et de toute impureté **(BENCHERIF ET AL, 1996)**

I.8.3.2 Valeurs couscoussière

La valeur couscoussière d'une semoule se caractérise par une teneur élevée en protéines (13,5% sur base humide) et son bon état de conservation par un taux d'acidité conforme aux normes internationales. Les types de semoules destinées à la fabrication du couscous sont de granulométrie supérieure à celle des pâtes alimentaires. **(BOUDREAU ET MENARD, 1992),**

I.8.3.3 Valeurs pastière

La qualité pastière du blé dur rend compte de leurs aptitudes à être transformés en semoules puis en pâtes alimentaires qui possèdent les caractéristiques recherchées : l'aspect à l'état cru, comportement durant et après la cuisson. **(FEILLET, 2000).**

I.9 Filière de production du blé en Algérie**❖ Contexte économique :**

En revanche la filiale de production des céréales a enregistré une production nationale qui varie de 18 à 31 millions de quintaux /an pour la période de 2010 jusqu'au 2018 et demeure très insuffisante, puisqu'elle ne couvre que 30% des besoins nationaux. La culture des céréales d'hiver demeure encore difficile à maîtriser tant que celle-ci reste confrontée et soumise à plusieurs contraintes (aléas climatiques, faible maîtrise de l'itinéraire technique, etc. (**Tableau 06**). (**ANONYME 02**).

La superficie agricole dédiée aux céréales est actuellement de l'ordre de 3,3 millions d'hectares, la production est toujours très faible Cette situation engendre une production très faible (18 à 20 Qx /ha). L'objectif est donc de combler un déficit estimé à plus de 65 % de la consommation nationale de ce produit stratégique.

Tableau 6 : Statistiques de la production du blé dur en Algérie

Données Année	La superficie consacrée aux blé dur (Hectares)	Production annuelle (Qx)
2010	1 181 774	18 089 739
2011	1 230 414	19 274 740
2012	1 342 881	24 071 180
2013	1 180 332	23 323 694
2014	1 182 127	18 443 334
2015	1 314 014	20 199 390
2016	1 091 593	19 376 183
2017	1 178 081	31 834 189
2018	1 800 411	31850400
2019	1 600 025	27815200

La faiblesse de la production céréalière en Algérie découle en majeure partie des faibles potentiels des rendements. Il est donc impératif de faire accroître les rendements à l'hectare, parce qu'il n'est plus possible d'étendre les superficies consacrées aux céréales d'hiver.

L'Algérie arrive à la quatrième place avec 7,7 millions de tonnes /ans. Elle occupe un rang avancé dans la liste des plus grands pays importateurs de blé. La facture d'importation des céréales ne cesse de croître. L'importation du blé (dur et tendre) représente 65% des importations des céréales et le blé tendre représente 70% de l'importation du blé. On a importé jusqu'à 8 millions de tonnes de blé (dur et tendre) avec une facture qui dépasse 1,9 milliard de dollars.

Les futurs progrès visent l'accroissement du rendement dans les zones à environnement défavorable par le biais du développement de cultivars à adaptation spécifique au stress de l'environnement (**BENBELKACEM et KELLOU, 2000**).

❖ **Contexte politique**

Un soutien fort a été dédié à la filière du blé dur à travers les démarches suivantes

• **A l'échelle nationale :**

- Plan de relance pour doubler la production d'ici 2022 à 2025 : de 31 M Qx en 2017 à 45 M Qx en 2025

- Développer les surfaces dans tous les bassins de production
- Faire reconnaître le blé dur comme une variété spécifique.
- Une décision d'augmenter les prix d'achat de céréales aux producteurs. L'objectif est d'inciter les agriculteurs à fortement augmenter la production et améliorer la sécurité alimentaire du pays. (Prix d'achat **du blé** dur passera de 4 500 à 6 000 dinars le quintal (**321,3 à 377,9 €/t**), le blé tendre de 3 500 à 5 000 dinars le quintal (249,9 à 314,9 €/t) et l'orge de 2 500 à 3 400 dinars le quintal (à 178,5 à 214,1 €/t).

Chapitre II

Transformation du blé dur : Semoule et couscous

II Technologie de transformation du blé dur

Pour répondre aux attentes légitimes des consommateurs, des exigences sont à l'origine d'une filière fortement structurée de la production agricole à la transformation, au sein de laquelle toutes les parties prenantes visent une production hautement qualitative.

Dans ce chapitre on va mettre le point sur deux industries de transformation de blé dur :

- 1) Première transformation : La production de la semoule
- 2) Seconde transformation : La fabrication du couscous

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. La structure anatomique du grain de blé, à la différence d'autres céréales comme le riz, le maïs, le sorgho ou le mil, présente la particularité que l'ensemble des couches histologiques se replient à l'intérieur du grain pour constituer le sillon. La présence de ce sillon (qui représente environ 25 % de la surface du grain) a conduit au développement d'un procédé original de première transformation du blé que l'on appelle procédé de mouture. (**GODON et WILLM, 1991**).

II.1 La semoule

II.1.1 Définition et fabrication

Les semoules sont extraites à partir de blé dur (*Triticum durum*) par industrie de la semoulerie. Comparé au blé tendre, le blé dur a un grain de forme effilé, une teneur protéique plus importante ainsi qu'un albumen de consistance cornée plus difficile à réduire en farine. Ce dernier est aussi plus riche en gluten, en lipides, en minéraux et vitamines (10 à 20 % de plus que le blé tendre). De plus, les grains restent granuleux même moulus c'est-à-dire qu'ils conservent. (**FREDOT, 2009**) (**Fig 11**).

La structure tissulaire de l'albumen protège l'amidon et engendre une meilleure résistance lors des cuissons en leur évitant d'être collant. La fabrication de semoule reste néanmoins proche de celle de farine à savoir : le nettoyage pour avoir un grain industriellement pur, la mouture avec des broyeurs cannelés (sept broyeurs sont nécessaires), l'envoi des particules sur des sasseurs où elles sont tamisées



Figure 11 : Semoule de blé dur

II.1.2 L'industrie semoulière

Les principaux débouchés de cette industrie sont la transformation en pâtes alimentaires, les couscous et d'autres spécialités à base de blé dur. Les semoules en tant que telles sont aussi un aliment consommé en l'état dans une plus faible proportion. Les issues et autres coproduits de blé dur représentent environ 25% de la production industrielle des semoulières. Les sons et remoulages sont destinés aux fabricants d'aliments pour animaux de rente alors que les gruaux D sont plutôt utilisés par les fabricants d'aliments pour animaux familiers.

II.1.3 Les types de semoule

Selon (ABECASSIS, 2021), le diagramme d'une semoulière industrielle est plus complexe. La dissociation des tissus du grain permet de récupérer de la semoule pure provenant de l'albumen (environ 74% du poids du blé de départ).

Trois catégories principales de semoules sont obtenues :

- Qualité supérieure ou SSSE, destinée principalement à la fabrication des pâtes alimentaires (80 à 90% des semoules fabriquées), 187 μm minimum, teneur en cendres entre 0,55 et 0,80% MS avec une tolérance élargie portée à 1,10% MS
- Qualité courante ou SSSF, utilisée pour la confection des pâtes appertisées ou en conserves comme les raviolis, le couscous et les pâtes alimentaires de qualité courante, 160 μm minimum, teneur en cendres inférieure à 1,3 % MS,
 - Des gruaux D, ou farines basses provenant de l'albumen : environ 6% ;
 - Des sons, remoulages et autres issues de mouture provenant des tissus périphériques et

du germe : environ 20%, destinés principalement à l'alimentation animale (**Tableau 07**).

Tableau 7 : Compositions indicatives des issues et des coproduits

Issues et autres coproduits	Humidité (% MS)	Protéine (% MS)	Amidon (% MS)	Cellulose (% MS)	Matière Grasse (% MS)	Matière Minérales (% MS)
Gruau D	13-15	13-18	45-70	4-6	2-6	6-8
Remoulage	13-15	16-19	20-40	8-12	4-6	6-8
Son	13-15	15-17	20-30	10-14	4-6	7-9

II.1 .4 - Le process de Fabrication de la semoule

II.1.4.1 Réception de blé

A l'arrivée du camion de blé, la pesée se fait sur une balance. Après le contrôle administratif, un échantillon de charge est prélevé pour analyse en laboratoire afin de juger de la qualité du blé ; Le prélèvement se fait à l'aide d'une sonde en différents points du camion pour obtenir un échantillon représentatif, les prélèvements étant fonction de la charge transportée. Le blé est déversé dans une trémie. Cette dernière est recouverte d'un grillage qui permet de retenir les grosses inclusions telles que : graviers, pailles.

II.1.4.2 Nettoyage des grains

L'étape de nettoyage a pour fonction d'éliminer les impuretés présentes dans les lots de blé après récolte. Ce terme inclut les corps étrangers de type sable, terre, pierres, morceaux de métal, parasites, pailles et graines diverses, mais également les grains de blé colorés, tachés, fusariés, échaudés ou cassés. Après déchargement, le blé dur subit un nettoyage sommaire, ou prénettoyage, éliminant par voie mécanique sèche (criblage et aspiration) les impuretés grossières (grosses pierres, sable, pailles...) et les poussières. Il élimine aussi les insectes morts et certaines de leurs formes vivantes cachées à l'intérieur des grains qui sont des impuretés particulières. À la suite de cette opération, le blé dur est classé selon son origine, sa variété et ses caractéristiques spécifiques, et conservé dans des silos de stockage intermédiaire.

Les lots de blé classés sont mélangés avant transformation pour obtenir des semoules de qualité déterminée et constante. Ces mélanges de blé subissent immédiatement après nettoyage par des procédés mécaniques, qui a pour résultats :

- D'enlever les graines étrangères, les graines de blé dur colorées ou tachées de noir ou de brun (moucheture) pour limiter au maximum le nombre de points noirs et bruns dans la semoule et sur les pâtes ;
- D'enlever toutes les pierres de manière à éviter la présence de débris minéraux dans la semoule et d'endommager le moulin ;
- De réduire le nombre de fragments d'insectes venant d'un blé infesté et traité ;
- De réduire par dépoussiérage la charge microbienne ;
- D'éliminer tout corps étranger autre que les grains ;
- D'éliminer une partie du germe de blé.

L'ensemble des machines de nettoyage s'ordonne selon une séquence qui constitue le diagramme de nettoyage, assurant des triages et des classements par taille, densimétrie, aspiration et forme. Ainsi, le blé « sale » (avant nettoyage) est débarrassé de ses impuretés au moyen de séparateurs, de trieurs et d'épierreurs. **(ABECASSIS et al, 2021).**

II.1.4.3 Conditionnement

Le Conditionnement de blé, aussi appelé « préparation », est généralement réalisé par des dispositifs appelés « mouilleurs intensifs ». Cette étape consiste à ajouter l'eau aux grains pour augmenter la plasticité des tissus périphériques et éviter leur réduction en taille au cours du broyage, faciliter la séparation de l'albumen amylicé et des tissus périphériques et, enfin, réduire la résistance mécanique de l'albumen amylicé.

Le blé dur est amené à une humidité de 17% par une succession d'étapes de mouillage (généralement deux) et de temps de repos compris entre 12 et 28 h et variables selon les semouleries et les blés. **(ABECASSIS et al, 2021).**

II.1.4.4 La Mouture

La mouture, opération centrale de la transformation des blés en farines et en semoules repose sur la mise en œuvre de deux opérations unitaires : une opération de fragmentation-dissociation des grains et une opération de séparation des constituants. La première permet de dissocier l'amande et les enveloppes (broyage), de fractionner les semoules vêtues (désagrégeage) et de réduire l'amande en farine (convertissage) ; la seconde assure la séparation des sons et des enveloppes sur la base de leur granulométrie (division par tamisage) et de leurs propriétés aérodynamiques (épuration des semoules par sassage) **(FEILLET, 2000)**. Les équipements utilisés pour effectuer ce travail sont présentés dans le Tableau 08 suivant :

Tableau 8 : Principaux matériels utilisés en semoulerie.

Matériels	Fonctions
Cylindre lisse	Rouleau métallique dont la surface est sans aspérité
Cylindre cannelé	Rouleau métallique en surface duquel ont été gravées des cannelures. Celles-ci sont sillons asymétriques régulièrement tracés en surface des cylindres, dans le sens de la longueur, et dont la largeur et la profondeur peuvent être respectivement comprises entre 800-2 500 et 200-600 µm.
Broyeur, réducteur et désagrégeur	Machines constituées de deux cylindres cannelés entraînés en sens inverse et à des vitesses différentes (rapport des vitesses : 1/2,5. L'écartement entre les deux cylindres est réglable.
Claqueur et convertisseur	Machines identiques aux broyeurs, à l'exception des cylindres qui sont lisses. Ils ne sont pas utilisés en semoulerie.
Plansichter	Machine constituée de tamis superposés et soumise à un mouvement de rotation (environ 200 tr/min ¹) destiné à assurer une progression régulière des produits d'un tamis à l'autre.
Sasseur	Machine constituée de tamis inclinés soumis à un mouvement de va-et-vient et d'un système d'entraînement des produits par l'air permettant de les séparer sur la base de leurs propriétés aérodynamiques (forme, taille et densité).

Les moulins possèdent deux séries d'appareils à cylindres (broyeurs et convertisseurs/claqueurs) à travers lesquels les blés ou les produits de mouture doivent successivement passer afin d'être réduits en farine. Chaque opération de broyage est suivie d'une opération de séparation par tamisage, qui permet de classer les produits avant de les envoyer sur l'appareil à cylindres suivant. Il existe différents types d'appareils à cylindre sont présentés dans le **Tableau 09** :

Tableau 9 : Différents types d'appareils à cylindres.

Type	Nature des cylindres	Rapport de vitesse	Usage principale
Broyeur	12	1 : 2.5	Blés tendres et blés durs
Claqueur et convertisseur	Lisses	1 : 2.25	Blés tendres
Réducteurs et désagrégateurs	Cannelés	1 : 2.5	Blés durs

La mouture comporte plusieurs étapes : le broyage ; le convertissage et le claquage ; le blutage ; le sassage.

❖ 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 (Fig 12).

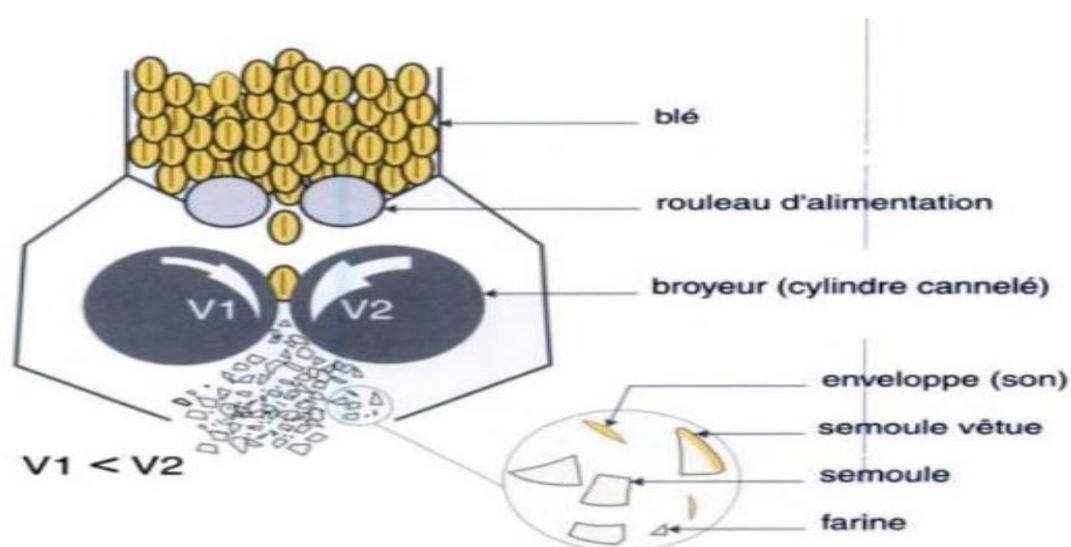


Figure 12 : Principe de fonctionnement d'un broyeur à cylindre.

Les cannelures possèdent une petite et une grande face, respectivement le tranchant et le dos ; elles se caractérisent par leur profondeur, l'angle que forment les deux faces et la longueur du méplat qui sépare chaque indentation. La position des cannelures les unes par rapport aux autres a un effet important sur les caractéristiques des produits isolés après broyage : en position tranchant sur tranchant, elles exercent une action de cisaillement et, en position dos sur dos, une action d'écrasement. (FEILLET, 2000).

❖ **Le convertissage et le claquage**

Le convertissage et le claquage sont effectués dans des appareils à cylindres lisses respectivement des convertisseurs et des claqueur. Ces deux opérations visent à réduire la granulométrie des semoules qui les alimentent et ne se différencient l'une de l'autre que par l'origine et la nature des produits traités : les convertisseurs reçoivent des semoules purifiées, les claqueur des semoules vêtues. (FEILLET, 2000).

❖ **Le Tamisage ou Blutage**

En sortie des broyeurs, les produits sont immédiatement triés en fonction de la granulométrie par des plansichters, qui consistent en une superposition de tamis rotatifs dont l'ouverture de maille est variable selon la position du broyeur dans la mouture. Un plansichter ne reçoit généralement de produits que d'un seul broyeur, mais les compartiments peuvent être divisés afin de recevoir de produits issus de quatre passages différents. Les produits ainsi séparés sont envoyés vers d'autres passages de broyage ou de sassage ou récupérés. (ABECASSIS et al, 2021).

- ❖ **Le Sassage** Le sassage assure également la séparation des produits de mouture : les produits sont maintenus en suspension par un courant d'air ascendant au-dessus de tamis dont la largeur de maille diminue au fur et à mesure de la progression des produits, celle-ci étant assurée par l'inclinaison et le mouvement de va-et-vient des tamis. La ségrégation des produits repose sur leurs différences de densité et de propriétés aérodynamiques : les particules d'albumen amylicé, plus denses ($d = 1,4$) que celles d'enveloppe ($d = 1,2$), retombent plus rapidement sur les tamis et sont extraites en premier. (Fig 13) (FEILLET, 2000).

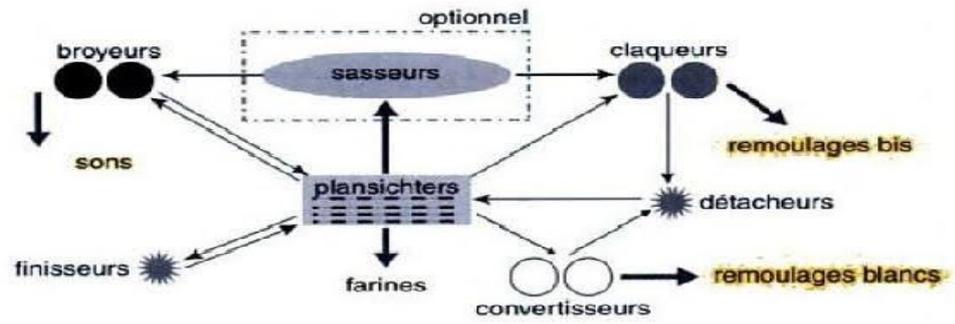


Figure 13 : Principe de la mouture du blé dur (FEILLET, 2000)

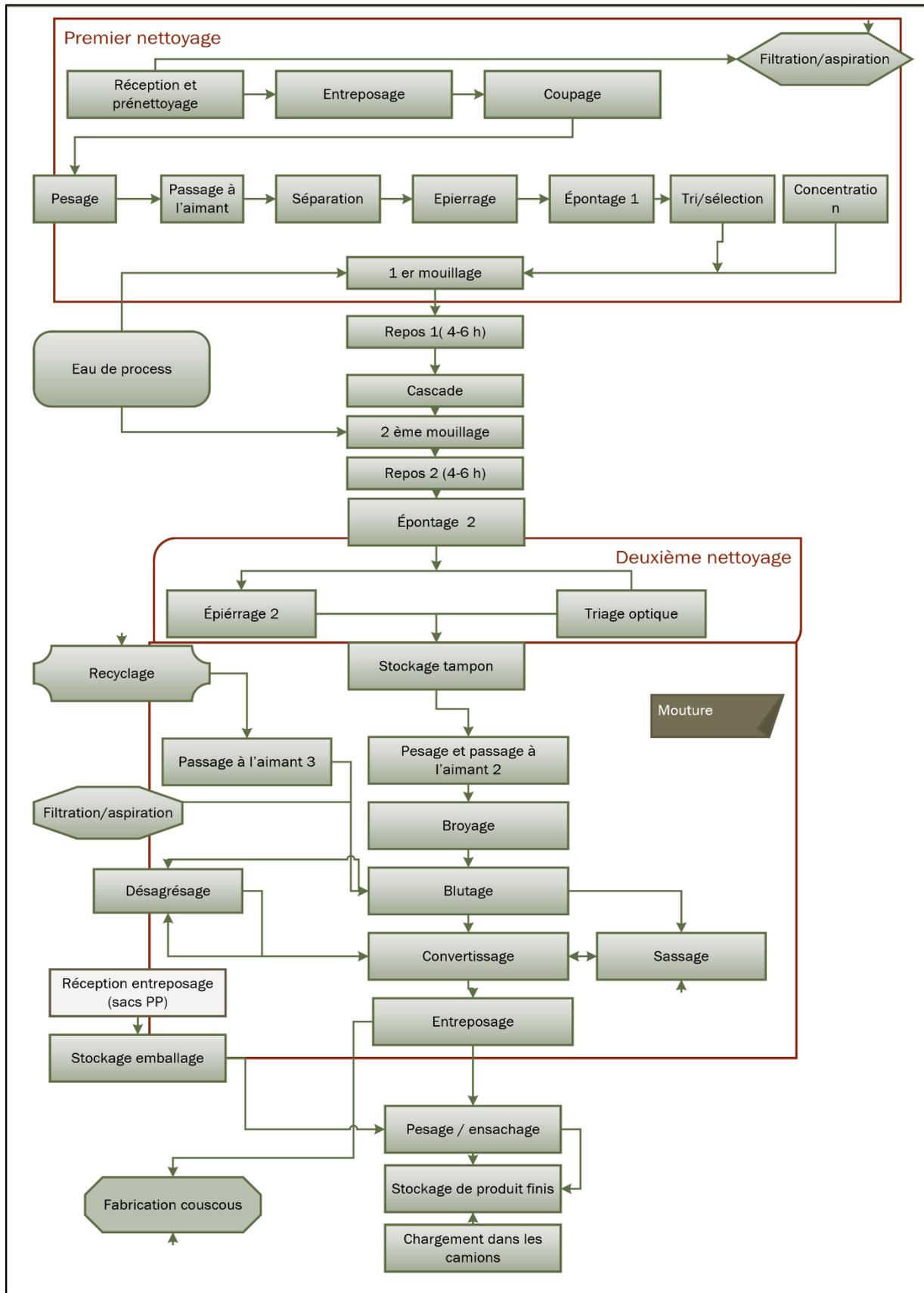


Figure 14 : Diagramme de fabrication de semoule AMOUR.

II.1.5 Valeur nutritionnelle de semoule

La semoule de blé est caractérisée, en premier lieu, par sa teneur importante en glucides. Les glucides sont les premiers fournisseurs d'énergie pour les cellules du corps humain, c'est d'ailleurs pourquoi on considère que chaque repas doit en contenir en bonnes proportions. De plus, la semoule contient des protéines d'origine végétale indispensables à l'entretien et au développement de la masse musculaire. Les fibres alimentaires contenues en quantité raisonnable dans la semoule favorisent le transit intestinal et contribuent au bien-être digestif. (Tableau 10).

Tableau 10 : Compositions indicatives des issues et des coproduits

Issues et autres coproduits	Humidité (% MS)	Protéine (% MS)	Amidon (% MS)	Cellulose (% MS)	Matière Grasse (% MS)	Matière Minérales (% MS)
Gruau D	13-15	13-18	45-70	4-6	2-6	6-8
Remoulage	13-15	16-19	20-40	8-12	4-6	6-8
Son	13-15	15-17	20-30	10-14	4-6	7-9

D'un point de vue micronutriments, la semoule est une excellente source de vitamines du groupe B qui interviennent dans les réactions métaboliques et qui sont donc très importantes pour le fonctionnement normal de l'organisme. En outre, elle est une source non négligeable de fer, potassium, magnésium et zinc. (Tableau 11) (ANONYME 06). Pour 100 g de semoule de blé cuite

Tableau 11 : Composition moyenne de semoule

Nutriment En g/100g Ou mg/100g	Semoule de blé
Calories	120
Glucide	24
Fibres	1.9
Matières Grasses	0.8

Protéines	3.75
Acide folique	19.5
Niacine	0.24
Thiamine	0.05
Fer	1
Potassium	96
Phosphore	62
Magnésium	16
Zinc	0.48

II.2 Le couscous

II.2.1 Définition

Le couscous est un produit alimentaire très ancien, inventé il y a environ 3000 ans par les Berbères en Afrique du Nord (**ABECASSIS et al, 2021**). Le mot tirerait son origine de l'arabe classique « kouskous » et de berbère « seksou » qui désigne à la fois la semoule de blé dur, il a plusieurs appellations au sein des familles algériennes à savoir « taàm » qui signifie nourriture ou « berboucha ».

C'est un aliment dont la consommation a largement franchi le continent africain. Le plus courant est le couscous de blé dur à petit grain, mais les maghrébins, connaissent d'autres variantes comme le couscous à gros grains (âicheou mhamssa), le couscous à base d'orge (meghlouhtou boumeghlouth), et le couscous fermenté (machroubou m'zeyet). Le couscous est une semoule de blé dur étuvée et agglomérée en granules de 01 à 02 mm de diamètre. (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

Selon le **codex alimentarius** le couscous est un produit composé de semoule de blé dur (*Triticum durum*) dont les éléments sont agglomérés en ajoutant de l'eau potable et qui a été soumis à des traitements physiques tels que la cuisson et le séchage.

II.2.2 Historique :

Plat emblématique de l'Afrique du Nord, Son origine, qui serait plutôt berbère qu'arabe, fait débat. Une certitude : le couscous est né au Moyen Age au Maghreb (l'Afrique du Nord entre l'Atlantique et la Cyrénaïque). Il aurait plus précisément été inventé dans le Maghreb occidental et central (Maroc et Algérie actuels) d'où il s'est diffusé vers la péninsule Ibérique (Al-Andalus), au Maghreb oriental (Tunisie actuelle) et probablement en Sicile, qui fut musulmane entre l'IXe et le XIe siècle.

Le terme arabe kuskusu, qui désigne aussi bien la semoule que le plat, apparaît dans les livres de cuisine de l'Occident islamique médiéval à partir du XIIe-XIIIe siècle. On peut le reconnaître dès le XIe siècle sous le vocable de taam (nourriture, céréales) dans des récits de saints. La plus ancienne mention évoque un repas offert par les habitants d'Ouargla (dans le nord-est de l'Algérie) à un mystique : « Ils préparèrent un taam surmonté de saucisses. » (ANONYME 07).

II.2.3 Types de couscous

Il existe deux types de couscous Selon le mode de préparation : artisanal et industriel

II.2.3.1 Couscous artisanal

La fabrication traditionnelle du couscous demeure globalement identique utilisant la même matière première : le grain de couscous est fait à partir de la semoule, de l'eau et du sel. Cette méthode exige l'emploi d'une main d'œuvre importante, c'est un groupe de femmes qui se rassemblaient et fabriquaient pendant plusieurs jours les quantités nécessaires à leur besoin annuel. (Fig 15).



Figure 15 : Préparation de couscous artisanal

II.2.3.2 Couscous industriel

Le couscous industriel un produit précuit à la vapeur dont l'amidon est gélatinisé, son hydratation rapide avant consommation lui confère la texture recherchée sans qu'il se délite ou s'agglomère. Une grande homogénéité en taille et en surface plus lisse et plus uniforme. Des comportements à la cuisson caractérisés par un indice de gonflement dans l'eau chaude comparable Les propriétés physicochimiques du couscous industriel se différencie de celle de la semoule par une perte de la viscoélasticité du gluten et une oxydation des pigments caroténoïdes. La fabrication industrielle du couscous presque exclusive dans le pays occidentaux et de la généralisation en Afrique du nord a permis d'assurer l'approvisionnement des milieux urbains. (ABECASSIS et al, 2021). (Fig 16).



Figure 16 : Fabrication de couscous industriel

II.2.4 Transformation de la semoule en couscous

Selon ABECASSIS et al, 2021, les étapes de fabrication des grains de couscous sont :

A. Le malaxage :

Joue un rôle essentiel pour l'agglomération, en assurant le mélange d'un milieu granulaire hétérogène, avec plusieurs populations très différentes : particules de semoule (200-400 μm), nucléis (500-800 μm), agglomérats (800-2000 μm) et morceaux de « pate » (au-delà de 2000 μm). Les apports d'eau et d'énergie mécanique au cours de l'étape d'agglomération ne sont pas suffisants pour induire la formation d'un réseau de gluten, comme c'est le cas pour les pâtes alimentaires. À titre de comparaison, la fabrication des pâtes alimentaires est conduite

dans des conditions quasi équivalentes de teneurs en eau ; mais avec des apports d'énergie mécanique beaucoup plus important lors du procédé d'extrusion.

B. Roulage et classification par taille :

A l'issue de l'étape d'agglomération, les agglomérats humides sont directement soumis à une double opération de roulage-classification par la taille. L'opération de roulage correspond à la mise en mouvement des agglomérats à la surface d'une succession de tamis d'ouverture de maille décroissante. Le mouvement des agglomérats sur les tamis contribue aux mécanismes de structuration sous l'effet des sollicitations mécanique, qui introduisent leur densification ainsi que leur érosion de surface. Le déplacement des agglomérats sur les tamis assure une fonction de classification par le diamètre. Le système permet de séparer les agglomérats trop petits, de collecter ceux avec un diamètre de 1 à 2 mm et de séparer les agglomérats trop gros (**Fig 17**). Les grains trop petits ou trop gros gérés dans le flux de recyclage de matière. Deux technologies industrielles sont disponibles pour la conduite de l'opération de roulage-classification :

- Les plansichters sont constitués par des tamis superposé animés d'un mouvement circulaire uniforme, avec des ouvertures de diamètre décroissant. Le roulage des agglomérats sur plansichter semble peu modifier la densité et la forme des agglomérat ;

- les rouleurs à tambour rotatif sont constitués par une succession de sections tubulaires au sein d'un tambour cylindrique légèrement incliné. La première section est formée par une plaque métallique non perforée. Les sections suivantes sont constituées par des plaques perforées avec des orifices de diamètre dont la taille augmente lorsque l'on se rapproche de l'extrémité non perforée du tambour. Les agglomérats sont introduits au niveau de l'extrémité non perforée du tambour. La rotation du tambour contribue à faire avancer les agglomérats. Les effets mécaniques sont générés par la rotation du tambour. Les grains de couscous roulés en tambour rotatif sont plus sphériques et plus denses que les grains roulés en plansichters, qui ont une forme plus irrégulière. la fonction de tamisage permet de récupérer la fraction granulométrique d'intérêt, avec un diamètre compris entre 1 et 2 mm

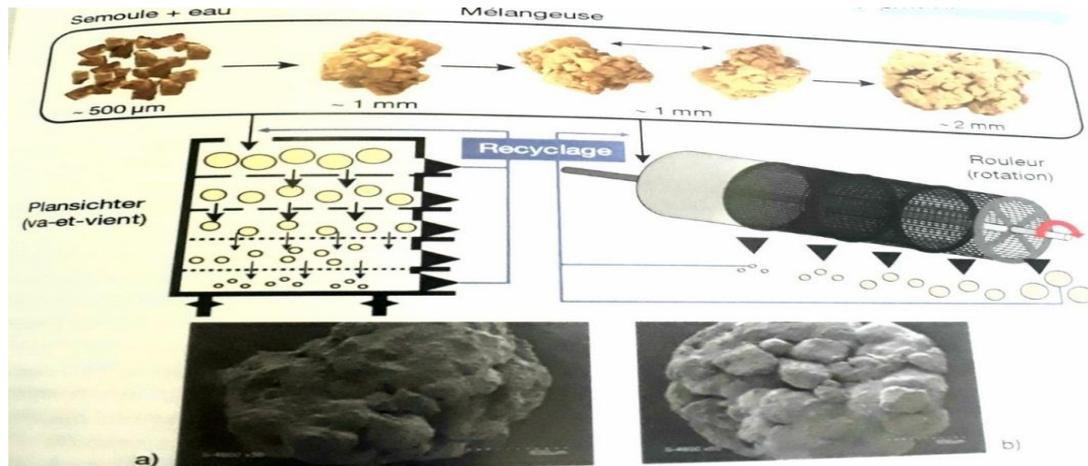


Figure 17 : Roulage et classification par taille des grains de couscous:(a) par plansichter ; (b) par tambour rotatif ou rouleur (ABECASSIS et al, 2021)

C. La cuisson pour consolider la structure granulaire

Les agglomérats humides et calibrés sont soumis à une opération de cuisson à la vapeur. La cuisson est réalisée par injection de vapeur dans un cuiseur tunnel en continu. Les agglomérats humides sont déposés en couche épaisse (environ 20cm d'épaisseur) sur un tapis métallique perforé qui traverse le tunnel de cuisson. La cuisson réalisée à 100 °C par injection de vapeur à pression atmosphérique. Pour un seul agglomérat humide isolé d'environ 1500µm de diamètre, il ne faudrait en théorie qu'environ 2 min pour obtenir une cuisson homogène.

Cependant, un temps de séjour voisin de 15 min est nécessaire pour assurer les transferts de vapeur et de chaleur au sein de la couche de 20cm d'agglomérat (environ +5%) liée à des phénomènes de condensation et d'absorption moléculaire. La cuisson joue un rôle primordial dans la fabrication des grains de couscous.

La cuisson est indispensable pour développer les qualités organoleptiques et nutritionnelles des grains de couscous. La cuisson rend l'amidon digestible par l'organisme via les mécanismes de gélatinisation, et contribue à donner une texture ferme et fondante appréciée. La cuisson rend le produit fini directement consommable, après simple réhydratation à froid ou à chaud.

La cuisson assure la consolidation de la structure des agglomérats et le renforcement de la résistance mécanique des grains de couscous. Les agglomérats, formés par l'assemblage des particules de semoule, se transforment en une structure plus homogène avec un aspect « fondu », au sein de laquelle les particules de semoule ne sont quasiment plus identifiables. La cuisson induit une fusion partielle irréversible des particules de semoule. Si les agglomérats ne

sont pas cuits avant l'étape de séchage, les grains de couscous restent très fragiles, ce qui les rend difficile à manipuler.

Au cours de la cuisson, des modifications physico-chimiques importantes des constituants sont activées par les hautes températures (100°C pendant 15-20 min sur un produit à forte teneurs en eau (40%).

L'étape de cuisson impacte directement les qualités finales des grains couscous, que ce soit la capacité d'absorption d'eau ou le caractère collant. En sortie de cuisson, la « couche » d'agglomérats cuits (une sorte de « gâteau ») présente une certaine cohésion, et il est nécessaire de séparer mécaniquement les grains à l'aide d'un désagrégateur associé à un tamis de calibration.

D. Le séchage pour stabiliser les produits

Après l'étape de cuisson, les grains sont séchés. Le principe physique du séchage des grains de couscous est une simple extraction de l'eau par changement de phase et entraînement dans un courant d'air à vitesse, température et humidité relative contrôlées. Les grains de couscous sont des « objet » relativement facile à sécher. Les grains sont étalés en une couche de faible épaisseur. La porosité et le faible diamètre des grains de couscous sont favorables aux mécanismes d'élimination de l'eau. Le séchage vise à réduire la teneur en eau des grains de couscous jusqu'à une valeur inférieure à 13.5% pour respecter la législation en vigueur et garantir leur conservation. Le séchage industriel du couscous est réalisé à des températures élevées (90-120°C) sur des durées courtes (15-20 min).

Le séchage des grains de couscous est conduit sur des nacelles circulant dans un séchoir à air chaud. Le mouvement des nacelles permet un mélange « doux » des produits pour favoriser les échanges de matières avec le courant d'air chaud, en limitant la formation de couches limites au niveau des interfaces. Le mouvement des nacelles au cours de séchage induit également des phénomènes d'érosion des grains qui se traduisent par la formation de « fines particules » de poudre sèche. Ces fines particules sont récupérées et valorisées dans les circuits de recyclage.

Après étape de séchage, les produits secs (et chauds) sont refroidis à température ambiante dans un refroidisseur avec un courant d'air froid. Le refroidissement des grains secs permet leur rigidification par passage en dessous de la température de transition vitreuse. Une étape de classification sur tamis vibrants permet de séparer les grains secs en fonction de leur taille. Le couscous fin correspond aux grains avec une taille comprise entre 1.25-1.85 mm. Ces produits sont stockés dans des silos avant d'être conditionnés dans des emballages de

commercialisation. Les grains dont la taille est supérieure à 1.85mm sont broyés et tamisés à nouveau. Les grains dont la taille inférieure à 0.63mm sont recyclés avec les matières premières. Les recyclats secs présentent des caractéristiques biochimiques différentes des semoules mises en œuvre, avec notamment un taux élevé de gélatinisation de l'amidon et une faible solubilité des protéines. La réincorporation des recyclats secs en mélange avec la semoule de blé dur en amont de l'étape d'agglomération réclame une maîtrise des conditions de mouillage. **(Fig 18)**.

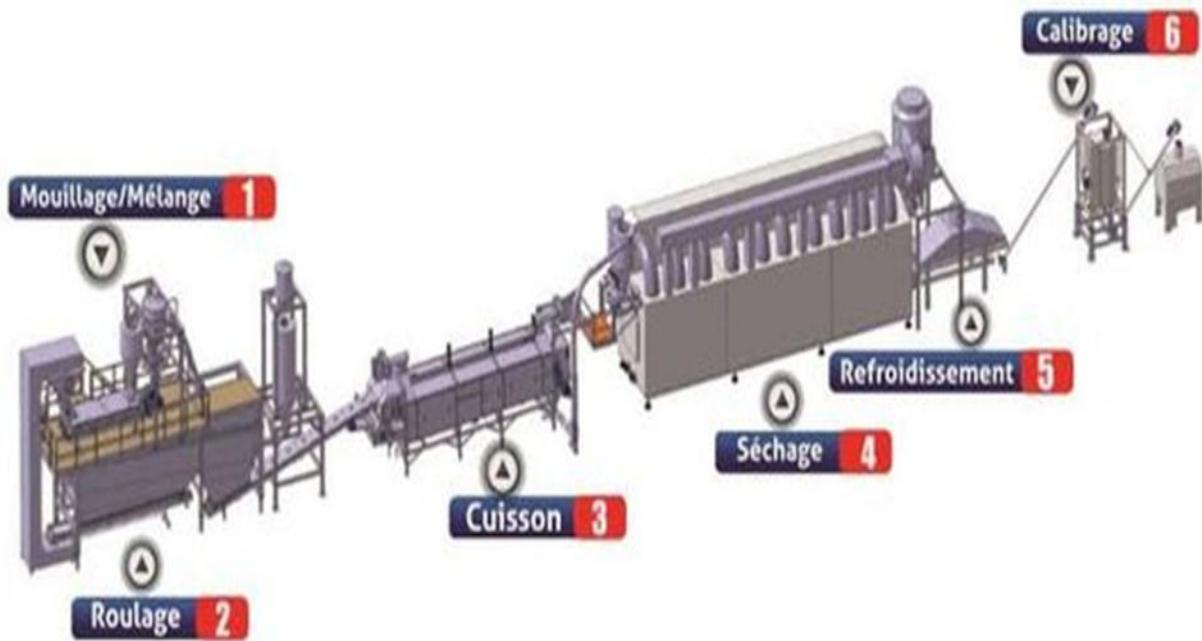


Figure 18 : Process de fabrication du couscous industriel

II.2.5 Notion de qualité de couscous

II.2.5.1 Qualité hygiénique

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

II.2.5.2 Qualité nutritionnelle

Le couscous ordinaire est fabriqué à partir de semoule moulue et sa valeur nutritionnelle réside dans le fait qu'il s'agit d'une riche source de fibre et de protéines alimentaires. Selon (**FEILLET, 2000**), chaque 100 g de couscous cuit sur 69 g d'eau, 4 g de protéines, 26 g de glucide, 0.5g de lipides et 125 g de calories, alors que lorsqu'il est cru contient 360 g de calories.

II.2.5.3 Qualité organoleptique

Les caractéristiques qui déterminent la qualité organoleptique des pâtes sont en général leur aspect à l'état cru et leur comportement durant et après la cuisson. D'après (FEILLET,2000) cité par (ABECASSIS et al, 2021), un bon produit doit être clair et de couleur jaune ambrée, absorbe environ deux fois. Son poids d'eau pendant la cuisson et conserve une certaine fermeté et viscoélasticité ainsi qu'une surface lisse sans se déliter dans l'eau de cuisson.

II.2.5.3.1 Couleur du couscous

Guezlane, 1993 a indiqué que la couleur de couscous dépend principalement des caractéristiques de la semoule de blé dur, et peu sur la contribution des facteurs du processus. Les caractéristiques de couleur de la gamme de couscous entre 27 = 45, pour la teinte jaune (b*), 21 - 72, pour l'éclat (1*), et 0 - 4 pour la teinte rouge (a*) (Guezlane, 1993 ; Debbouz et al, 1994 ; Debbouz et Donnelly, 1996 in AOUAOUDA Wassila ET GUEMDANI Manel 2012).

II.2.5.3.2 Granulation des particules

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

II.2.5.3.3 Forme des particules

Les grains de couscous industriels sont des particules régulières, avec une forme homogène et sphérique et une surface lisse (ABECASSIS et al, 2021).

II.2.5.4 Qualité culinaire

Généralement, la qualité culinaire du couscous est appréciée par sa tenue à la cuisson telle que reflétée par l'état de surface qui doit être non collant et par délitescence qui traduit la désintégration des particules de couscous. (BOUDREAU et MENARD, 1992)

II.2.5.4.1 Le temps de cuisson

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

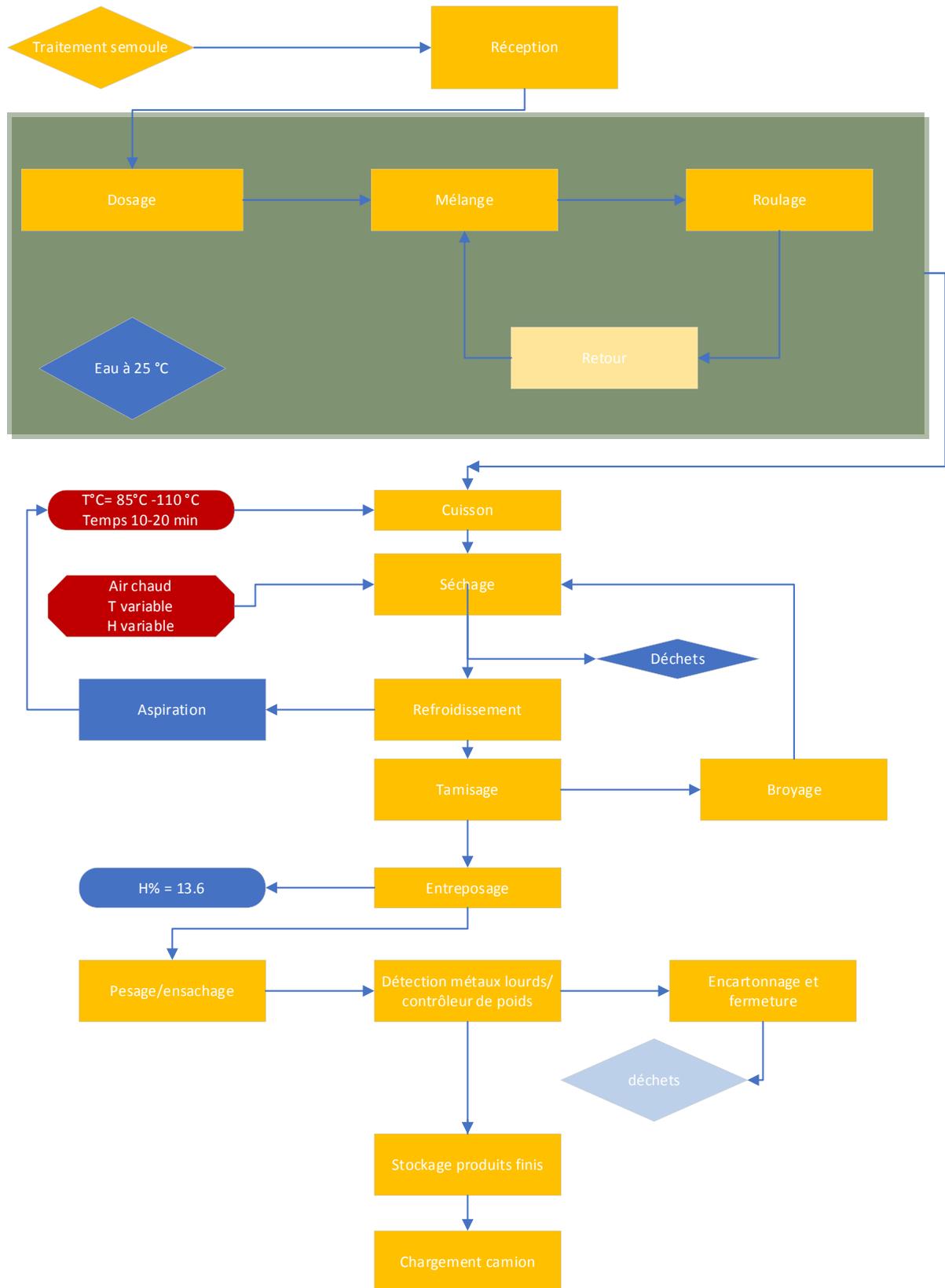


Figure 19 : Diagramme de fabrication du couscous AMOUR

Partie II

Etude expérimentale

Chapitre I

Matériel et méthodes

I.1. Objectifs de l'étude pratique :

Notre étude tracera son objectif pour :

- Déterminer l'effet du taux de mitadinage sur la qualité du couscous :
- Identifier et analyser physico-chimique et microbiologiques susceptibles d'apparaître à différents stades du process de fabrication du couscous du blé dur jusqu'au produit fini (couscous).

I.2. Lieu et période du travail :

Le présent travail a été réalisé dans l'unité de fabrication du couscous du groupe **SARL SEMOULERIE AMOUR** à Mouzaia ; durant la période allant du **01/03/2022** jusqu'au **01/06/2022**. (Voir Annexe A)

Les analyses physico-chimiques du blé dur, couscous et semoule ont été effectués en 04 laboratoires ;

- Le laboratoire du « SARL AMOUR »
- Les laboratoires de l'ITGC EL HARRACH.
- Le laboratoire régional CACQE EL HARRACH
- Le laboratoire de contrôle de qualité bio-engineering Béni Mered- Blida

I.3- Matériels d'études

I.3.1 Matières premières

- Blé dur (origine Mexique et Italie).
- Semoules.
- L'eau de process pour la fabrication du couscous.
- Couscous industriel.

I.4- Méthodes d'analyses**I.4.1 Échantillonnage :**

Nous avons adopté une série d'opérations d'échantillonnage de la matière première pour la fabrication du couscous (blé dur, semoule et eau de process), et aussi de produit fini (couscous) selon le tableau suivant :

Tableau 12 : Plan d'échantillonnage

Produits Echantillons	Blé dur	Semoule	Eau de process	Couscous
01	26/02/2022	28/02/2022	01 /03/2022	01 /03/2022
02	01/03/2022	03/03/2022	04/03/2022	04/03/2022
03	12/03/2022	14/03/2022	15/03/2022	15/03/2022
04	15/03/2022	17/03/2022	18/03/2022	18/03/2022
05	01/04/2022	03/04/2022	04/04/2022	04/04/2022

I.4.2 Les Méthodes d'analyses**A. Blé dur**

Selon la norme codex **CXS** 199-1995 et la norme **ISO** 11051 qui définissent les caractéristiques physicochimique et générales du blé dur (*Triticum durum*).

A.1. Détermination du taux d'impuretés et spécifications minimales (agréage physique).

- Le blé dur examiné soigneusement à l'œil nu doit être exempt de tout insectes vivants.
- Peser 100 g de blé dur sale.
- Tamiser à l'aide d'un tamis 1.9 *20.00 mm.
- Trier les grains de blé endommagés (échaudés –cassés), mitadinés, l'ergot ; mouchetés. (Voir tableau 14).
- Peser chaque type de grains susmentionné.
- Déterminer le taux de chaque type susmentionné à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Taux du grain en défaut} = \frac{\text{Pourcentage de grains en défaut}}{100}$$

Tableau 13 : Teneurs maximales en impuretés (ISO 11051)

Impuretés	Valeur Maximale donnée admissible %
Grains cassés	7
Grains échaudés	5
Grains mouchetés	5.8
Autres céréales	3
Matières étrangères	2
Ergot	0.05
Mitadiné	20

A.2 Détermination du taux de mitadinage

❖ **Principe :**

La détermination est faite sur 300 grains, en comptant les grains mitadinés après les avoir coupés transversalement à l'aide d'un scalpel.

❖ **Appareillage :**

Scalpel avec plaque à cinquante alvéoles : **Farinotome de Pohl. (Voir annexe C)**

❖ **Mode Opérateur :**

- Introduire la plaque de la coupe grains, verser une poignée de grains entiers sur la grille.
- Secouer de façon qu'un grain se place verticalement dans chaque alvéole puis rabattre le couvercle pour maintenir les grains à trancher.
- Sectionner lentement tous les grains, retirer la plaque avec précaution, puis compter le Nombre de grains mitadinés.

❖ **Expression des Résultats :**

Les résultats sont exprimés en pourcentage de grains mitadinés :

$$M (\%) = \frac{M1}{M2}$$

M₁ : nombre de grains entiers mitadinés présent dans les 300 grains.

M₂ : nombre de grains entiers du prélèvement (300 grains).

A.3 Détermination de la teneur en eau

❖ But du dosage de l'eau

- Conservation des aliments (aspect technologique).
- Détermination de la teneur en pourcentage de matière sèche (aspect analytique).
- Contrôle de la qualité des matières alimentaires (aspect commerciale).

❖ Techniques du dosage de l'eau

Par dessiccation : la perte en poids (évaporation de l'eau) en conditions de séchage spécifiées.

❖ Manipulation

Principe : Séchage d'une prise d'essai jusqu'à l'obtention d'un poids constant dans une étuve réglée à une température de 103 ± 2 °C.

Dessiccation à l'aide d'un dessiccateur muni d'un déshydratant efficace ;

❖ Matériel et produits

- Balance analytique
- Etuve ventilée thermorégulée pouvant être stable à 103 ± 2 °C durant toute la période du travail ;
- Capsule à fond plat
- Dessiccateur muni d'un déshydratant efficace ;
- Blé dur.

❖ Préparation de l'échantillon

Pour le blé (échantillon solide) : on effectue un broyage du blé avec un broyeur mécanique.

❖ Mode opératoire

- Peser rapidement à 0,1 mg près, de 1 à 5g de l'échantillon préparé dans la capsule préalablement séchée et pesée à vide ;
- Etuver pendant deux heures à 103 ± 2 °C ;

- Retirer la capsule, laisser refroidir dans le dessiccateur puis peser la capsule ;
- Réétuver pendant une heure, retirer, refroidir et repeser ;
- Répéter l'opération jusqu'à ce que la différence entre deux pesées successives ne dépasse pas 1mg ;
- Relever la masse la plus faible.

❖ **Exploitation des résultats**

1. Teneur en matière sèche

$$ES (\%) = \frac{P_{ce} - P_{cv}}{P_e}$$

2. Teneur en humidité

$$H (\%) = 100 - \frac{P_{ce} - P_{cv}}{P_e}$$

Où :

P_{ce} : poids de la capsule étuvée

P_{cv} : poids de la capsule vide

P_e : prise d'essai

A.4 Détermination du poids spécifique (La masse à l'hectolitre).

La masse à l'hectolitre correspond à la masse de blé contenu dans un hectolitre rempli de grains, d'impuretés et d'air interstitiel. (NA 1613/1990)

❖ **Principe :**

Ecoulement libre d'un échantillon au moyen d'une trémie dans un récipient de 01 litre.

❖ **Appareillage**

- Un Niléma-litre qui Mesure 01 litre.
- Balance Romaine (maximum 1 Kg).

❖ **Mode opératoire**

Effectuer deux déterminations sur le même échantillon pour essai.

Emplissage de la trémie

- Poser la mesure sur un plan horizontal stable. La trappe étant fermée, emplir cette trémie avec le grain dont on veut connaître le poids.
- Abattre le trop -plein avec une règle et ouvrir la trappe entièrement et d'un coup sec, le grain tombe dans la mesure de 1 litre.

Arasement et pesée de la mesure

- aussitôt après la fin du jet et sans fermer la frappe, araser la mesure.
- une fois la mesure arasée
- peser les grains.

❖ **Expression des résultats**

- La masse à l'hectolitre est exprimée en kilogramme par hectolitre.
- Exprimer le résultat avec deux décimales.

A.5 Détermination de la masse de 1000 grains

La masse de 1000 grains tels quels est la masse de 1000 grains avec leur teneur en eau existant au moment de la détermination ;

❖ **Principe**

- Pesée d'une quantité de l'échantillon,
- Séparation et pesée des grains entiers.
- Comptage des grains entiers et par règle de trois, obtention de la masse de 1000 grains.

❖ **Matériel**

- Balance précise à 0,01 g.
- Pince (pour saisir les grains).
- Le comptage se fera manuellement

❖ **Mode opératoire**

- Détermination de la masse de 1000 grains tels quels
- Prélever au hasard une quantité à peu près égale à la masse de 500 grains de l'échantillon tel quel.

- Sélectionner les grains entiers et les peser à 0,01g près.
- Compter les grains entiers ensuite faire un comptage manuel. Les grains de céréales habituellement non vêtus doivent être, le cas échéant, débarrassés de leur enveloppe florale.
- Peser les grains prélevés et exprimer le résultat.

B. Analyse de semoule

B.1 Détermination de la granulation

❖ Appareillage :

- Tamiseur de laboratoire équipé d'un système de blocage des tamis. (**Voir annexe C**)
- Tamis circulaire, avec fond, couvercle et réceptacle, en acier inoxydable ou matériau similaire ($\varnothing= 200\text{mm}$, $h= 20 \text{ mm}$ minimum).
- Billes en caoutchouc, de 18 mm + 1mm de diamètre et d'une masse de 5 g ± 0.5 g
- Spatule.
- Pinceau doux Réciptent plat, d'environ 2 litres de capacité.
- Balance analytique, précise à 0.001g près.

❖ Mode opératoire :

- Une prise d'essai de 50 g, à 0.01 g près.
- Préparer les tamis en les classant selon les produits et placer les huit billes en caoutchouc sur le fond du tamis

➤ Semoule moyenne :

$\varnothing=710\mu\text{m}$

$\varnothing=355\mu\text{m}$

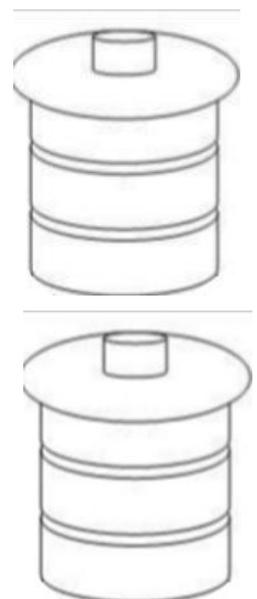
- Fond de tamis (extraction)

➤ Semoule fine

$\varnothing= 425 \mu\text{m}$

$\varnothing= 125 \mu\text{m}$

- Fond de tamis (extraction)



B.2 Détermination du l'indice de gluten

Le gluten humide d'une semoule de blé est la substance plasto-élastique composé de principalement de gliadine et de gluténine. Il constitue l'armature de la pâte et lui communique ses propriétés rhéologiques.

❖ **Principe :**

Préparation d'une pâte au moyen d'un échantillon de farine et d'une solution de chlorure de sodium. Isolement du gluten humide par lavage de cette pate avec la solution de chlorure de sodium, puis essorage et pesée du produit obtenu.

❖ **Réactifs**

- L'eau utilisée doit être de l'eau distillée.
- Chlorure de sodium, solution à 20g/l.
- Préparer la solution fraiche chaque jour et l'utiliser à une température comprise entre 18 et 22°C.

❖ **Appareillage**

Extraction manuelle :

- Balance précise à 0,01.
- Mortier en porcelaine, verni à l'intérieur, ou capsule métallique, émaillée, de diamètre 10 à 15 cm.
- Burette de 10 ml, graduée en 0.1ml.
- Spatule de 18 à 20 cm de long.
- Tamis.
- Réservoir d'écoulement réglable pour la solution de chlorure de sodium.
- Presse à gluten ou essoreuse par centrifugation.
- Plaque métallique ou plaque en verre thermorésistante de 5cm x 5 cm.

Extraction mécanique

- Presse à gluten.
- Presse métallique ou plaque en verre thermorésistant de 5cm x 5cm.

❖ **Mode opératoire**

Préparation de la pâte

- Peser 10 g de semoule à 0.01 g près et les introduire dans le mortier ou capsule métallique.
- Verser 5.5 ml de la solution de chlorure de sodium en agitant la semoule avec la spatule, former une boule avec la pâte.

Extraction mécanique :

Laver la pâte dans la machine durant 10mn au moyen de la solution de chlorure de sodium.

L'extraction mécanique doit être suivie d'un lavage à la main à l'aide de la solution de chlorure de sodium. La durée de ce lavage n'excède pas 2 mn en général.

Essorage mécanique :

Utiliser un essorage par centrifugation.

❖ **Expression des résultats :**

Le gluten humide exprimé en pourcentage en masse du produit tel quel, est égal à :

$$GH = \frac{M \times 100 \times 10}{100 - H}$$

Où M : est la masse en gramme de gluten humide

Prendre comme résultat la moyenne de deux déterminations si les conditions de répétabilité sont remplies :

Le gluten humide exprimé en pourcentage en masse du produit rapporté à la matière sèche.

$$MS = \frac{GH \times 100}{100 - H}$$

GH : gluten humide

B.3 Test de sédimentation dans une solution de SDS - acide lactique.

❖ **Principe**

La sédimentation dans une solution de SDS (sodium-dodecyl sulfate) - acide lactique correspond au gonflement des protéines dans ce milieu. Il nous renseigne sur la qualité des protéines du gluten, il permet d'avoir une idée sur la relativité et la ténacité du gluten -La méthode pratiquée utilise une solution de SDS à 30 %.

❖ **Réactifs**

- Sodium-dodecyl sulfate pur.
- Eau distillée.
- Solution diluée d'acide lactique à 88 % (1 partie d'acide lactique + 7 parties d'eau distillée).

* Solution stock de SDS- acide lactique : Dissoudre 30 grammes de SDS dans 01 litre d'eau distillée, ajouter 20 ml de la solution diluée d'acide lactique.

❖ **Appareillage**

- Balance de précision.
- Eprouvettes graduées à fond plat avec bouchon (diamètre intérieur : 1.60 mm).
- Chronomètre.

❖ **Mode opératoire**

- Peser 6 g de la semoule, et l'introduire dans l'éprouvette, ajouter 50 ml d'eau distillée, agiter rapidement pendant 15 secondes.
- Agiter à nouveau (mouvement longs) pendant 15 secondes à 2 et 4 minutes.
- Immédiatement après la dernière agitation, ajouter 50 ml de la solution de SDS-Acide lactique, agiter longtemps 4 fois pendant 15 secondes, répéter l'opération à 2, 4 et 6 mn.
- Repartir du temps zéro, et laisser reposer 20 minutes.
- Réaliser deux essais pour chaque échantillon.
- Il est préférable de réaliser 4 échantillons en même temps.

❖ **Expression des résultats**

Lire directement sur l'éprouvette graduée, le volume de sédimentation en ml. Faire la moyenne des deux essais.

B.4 Détermination de la teneur en eau : (voir le titre A.3 page 58).

B.5 Détermination du taux de cendre

La quantité de matières minérales d'une denrée alimentaire est mesurée par le dosage des cendres de cette dernière.

La teneur en cendres d'une denrée s'obtient par incinération (ou combustion complète) dans un four à 550 - 800°C. L'adjonction de réactifs comme le nitrate de lanthane peut faciliter ou accélérer la combustion (cendres moins fusibles).

❖ **Principe :**

Incinération d'une prise d'essai jusqu'à combustion complète des matières organiques puis pesée du résidu obtenu. Le résidu obtenu est floconneux après incinération à 550 ° C et vitrifié après incinération à 900 ° C.

❖ **Matériel et produits**

- Balance analytique ;
- Four à moufle ;
- Capsules en porcelaine ;
- Dessiccateur muni d'un déshydratant efficace ;
- Alcool éthylique ;

❖ **Mode opératoire**

- Préchauffer le four à moufle jusqu'à 525 ± 25 °C ;
- Peser à 0,1 mg près, environ 5g de l'échantillon dans la capsule séchée et pesée au préalable ;
- Flamber l'échantillon en présence d'alcool éthylique (pré-incinération) ;
- Introduire la capsule dans le four et laisser incinérer jusqu'à l'obtention d'un résidu blanchâtre ;
- Retirer la capsule et laisser refroidir dans un dessiccateur ;
- Peser la capsule.

❖ **Exploitation des résultats**

$$Teneur\ en\ cendres\ (\%) = \frac{P_{ci} - P_{cv}}{P_e}$$

Où :

P_{ci} : poids de la capsule après incinération ;

P_{ev} : poids de la capsule vide ;

P_e : prise d'essai.

C. Analyse physicochimique de l'eau de process pour la fabrication du couscous

➤ **Dosage du titre hydrotimétrique TH (dureté de l'eau)**

❖ **Principe**

Cette méthode d'analyse a pour objet de décrire le dosage de la dureté ou Titre Hydrotimétrique (TH) et le dosage du calcium.

❖ **Appareillage :**

- Pipette de 10 ml. Propipette.
- Erlenmeyer de 250 ml Pyrex.
- Fiole jaugée de 25 ml Brand Duran.

❖ **Réactifs :**

Liqueur complexométrique (EDTA) N / 50, Noir Eriochrome T, Tampon K10, Pastilles de soude et Indicateur coloré dosage du calcium.

❖ **Mode opératoire :**

➤ **Dosage du TH :**

- Agiter vigoureusement l'échantillon.
- Prendre une prise d'essai de 25 ml de l'eau à analyser à l'aide de la fiole Verser la solution dans l'erenmeyer de 250 ml.
- Ajouter une dizaine de gouttes de Tampon K10, agiter
- Verser quatre gouttes de N.E.T.
- Agiter, en présence de TH la solution sera violette.
- Sinon la solution est bleue donc $TH = 0 \text{ } ^\circ F$
- Titrer à l'aide de la solution Compléxométrique N / 50 présente dans la pipette de 10 ml munie de la propipette afin d'obtenir une coloration bleue.
- Soit T le nombre de ml de solution compléxométrique versé afin d'obtenir la coloration bleue, noter le volume.

➤ **Dosage du calcium**

- Agiter vigoureusement l'échantillon. Prendre une prise d'essai de 25 ml de l'eau à analyser à l'aide de la fiole jaugée.
- Verser la solution dans l'erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter une pointe de spatule de pastilles de soude solides, agiter (ne pas attendre la dissolution entière des pastilles).
- Verser une pointe de spatule d'indicateur coloré pour le dosage du calcium, agiter (en présence de calcium la solution sera violette).
- Sinon la solution est bleue donc $\text{Ca}^{2+} = 0 \text{ } ^\circ \text{F}$
- Tout en agitant titrer à l'aide de la solution Compléxométrique N / 50 présente dans la pipette de 10 ml munie de la propipette afin d'obtenir une coloration bleue.
- Soit C le nombre de ml de solution Compléxométrique versé afin d'obtenir la coloration bleue, noter le volume.

❖ **Résultats**

Les résultats sont exprimés en $^\circ\text{F}$.

La concentration en TH (exprimés en $^\circ\text{F}$) est égale à : $4 \times T$

La concentration en calcium (exprimés en $^\circ\text{F}$) est égale à : $4 \times C$

Pour la dureté $1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/l}$ en CaCO_3

Norme de chaudière : 0°F

➤ **Dosage des chlorures Cl^-**

❖ **Objet :**

Cette méthode d'analyse a pour objet de déterminer la teneur en chlorures d'une eau.

❖ **Appareillage :**

- Pipette de 10 ml
- Propipette
- Erlenmeyer de 250 ml Pyrex.
- Fiole jaugée de 25 ml Brand Duran

❖ **Réactifs :**

- Liqueur Argentimétrique (AgNO_3) N750
- Indicateur pour chlorures

❖ **Mode opératoire :**

- Analyses à faire à la suite du dosage de l'alcalinité TA-TAC sur le même échantillon
Ajouter quelques gouttes d'indicateur pour chlorures, la solution devient jaune
- Titrer gouttes à gouttes avec la Liqueur Argentimétrique N/50 présente dans la pipette de 10 ml munie de la propipette jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre persistante (précipité rouge brique).
- Soit N le nombre de ml de liqueur argentimétrique versé pour l'obtention de cette coloration

❖ **Résultats :**

- Les résultats sont exprimés en °F.
- La concentration en Chlorures (exprimé en F) est égale à : $4x N$

$$1^{\circ}F = 7.1 \text{ mg/l}$$

D. Analyse du couscous

D.1 Détermination des caractères organoleptiques du couscous

Gout : sentir le gout à maintes reprises

Couleur ; constater la couleur à l'œil nu

Odeur ; humecter l'odeur de l'échantillon

Texture ; faire un poudrage des particules de couscous à l'aide des doigts

D.2 Détermination de la granulation

❖ **Appareillage (Voir annexe C)**

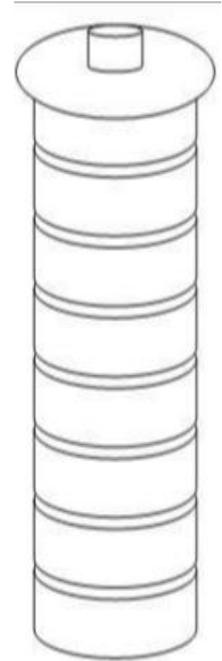
- Tamiseur
- Rotachoc
- Tamis avec ouverture de mailles : 1600 μm ; 1400 μm ; 1250 μm ; 1120 μm ;
1000 μm ; 900 μm ; 710 μm ; 200 μm ; 125 μm .
- Fond de tamis.
- Balance analytique pelle

❖ **Mode opératoire**

- Bien homogénéiser l'échantillon avant la prise d'essai.
- Peser 100g de produit.

- Préparer les tamis en les classant selon les produits :
 - Couscous moyen :
 - Ø=1600µm
 - Ø=1400µm
 - Ø=1250µm
 - Ø=1120µm
 - Ø=1000µm
 - Ø=900µm
 - Ø=710µm

Fond de tamis (extraction)



- Démarrer le tamiseur pendant 3 minutes pour le couscous avec une vitesse de 40.
- Peser le refus de chaque tamis et constater l'extraction du dernier tamis.

D.3 Détermination de la colorimétrie

❖ Principe

La détermination des différents indices de couleurs : indice de clarté, indice de brun et indice de jaune de couscous.

❖ Appareillage

- Chroma-mètre CR-410
- Broyeur

❖ Mode opératoire

- Allumer le colorimètre
- Placer l'échantillon du couscous dans compartiment nécessaire fourni avec l'appareil.
- Mettre la tête de mesure à la verticale au-dessus de l'échantillon.
- Appuyer sur la touche mesure/enter, jusqu'à que le voyant prêt est allumé
- Ne pas bouger la tête pendant la mesure.
- Lire directement le résultat sur l'écran **LCD** du colorimètre.

D.4 Détermination d'indice de gonflement

❖ **Principe :**

Le gonflement renseigne sur la capacité d'absorption d'eau du couscous.

❖ **Appareillage**

- Eprouvette graduée de 250 ml précise à 2 ml, de diamètre interne compris entre 35 et 42 mm.
- Chronomètre précis à la seconde. Balance précise à 0.1 g.
- Thermomètre précis à 0.5°C.
- Tige d'agitation en verre ou en plastique ou en acier inoxydable de diamètre de l'ordre de 6 mm et de longueur de plus de 10 cm de celle de la hauteur de l'éprouvette.
- Bain Marie.

❖ **Mode opératoire**

- Peser 20g à l'aide d'une balance de précision de couscous cru.
- Verser dans une éprouvette graduée de 100ml à col rodé contenant 50ml d'eau distillée (eau froide 25°C ou chaude 100 c°).
- Boucher l'éprouvette et effectuer 10 retournements successifs de manière à bien hydrater l'ensemble des particules.
- Ajouter à nouveau 50ml d'eau pour faire descendre les particules restées colées le long de la paroi de l'éprouvette.
- Noter le volume de couscous après 5mn, 10mn, 30mn, 40mn, 50mn 60mn.
- Déterminer l'indice de gonflement par la relation suivant :

❖ **Expression des résultats**

Le résultat, ou indice de gonflement noté IG, est exprimé comme suit

$$IG = \frac{V2}{V1}$$

V2: volume final

V1: volume initial

D.5 Détermination de la teneur en eau : (voir le titre A.3 page 58).

D.6 Détermination du taux de cendre : (voir le titre B.5 page 65).

D.7 La qualité culinaire du couscous :

❖ **Préparation du couscous par la méthode rapide de cuisson :**

L'indice de prise en masse du couscous cuit représente l'un des critères d'évaluation de la qualité organoleptique du couscous. Il rend compte de l'état physique d'agglomération des grains de couscous au cours de la cuisson à la vapeur suivie d'un séchage. Son principe consiste à hydrater puis sécher ce couscous avant de le soumettre à une analyse granulométrique. L'IPMT a été apprécié par l'évaluation de la taille des particules sur un tamis de 3150 µm d'ouverture de maille

La préparation du couscous est réalisée selon la méthode rapide du **GUEZLANE (1993)**. 10 g de couscous sec placés dans un cristalliseur. Le couscous est hydraté avec 16.5 ml d'eau distillée bouillante salée à 5 g/l. Après addition d'eau le cristalliseur est immédiatement recouvert d'une membrane de paraffine et placé à l'étuve à 90°C pendant 12 minutes. Après cuisson, on procède au séchage qui consiste à placer le produit cuit dans une étuve ventilée pendant 4 heures à 90°C de manière à ramener la teneur en eau du produit à 12 % de matière humide.

❖ **Prise en masse du couscous cuit**

Après cuisson du couscous selon la méthode rapide), la prise en masse est évaluée suivant l'indice de prise en masse par tamisage (IPMT)

❖ **Indice de prise en masse par tamisage**

Cette méthode consiste à tamiser 10 g de couscous à l'aide d'un tamiseur sur un tamis d'ouverture de maille égale à 3150 µm. L'indice de prise en masse par tamisage est défini par la relation suivante :

$$IPMT (\%ms) = 100 \frac{\text{Refus au tamis } (\varnothing = 3150)}{\text{Prise d'essai}}$$

D.8 Dosage de l'azote total dans les denrées alimentaire selon Kjeldahl

❖ Principe

Les composés organiques contenant de l'azote (protéines et acides nucléiques dans certaines matrices) sont décomposés à chaud, sous l'action d'acide sulfurique et d'un catalyseur. Ce catalyseur contient du sulfate de potassium (K_2SO_4), qui permet d'augmenter la température d'ébullition de l'acide sulfurique, et du sulfate de cuivre ($CuSO_4$) qui agit comme catalyseur de la réaction.

L'azote va donner quantitativement du sulfate d'ammonium : c'est l'étape de minéralisation.

L'ammoniac est ensuite déplacé de son sel par la soude, distillé par entraînement à la vapeur d'eau et recueilli dans une quantité connue d'acide chlorhydrique en excès. C'est l'étape de distillation.

La quantité d'acide chlorhydrique n'ayant pas réagi est dosée en retour par de la soude. C'est l'étape de dosage

❖ Calcul de la teneur en protéines brutes

Multiplication de la teneur en azote trouvée par un facteur de conversion (qui correspond à l'inverse de la teneur en azote dans la protéine). Comme la teneur en azote est variable (fonction des acides aminés présents et de leurs proportions), un facteur de conversion différent devrait être utilisé pour chaque sorte de protéine. Toutefois, lorsque la nature exacte de la protéine n'est pas connue ou si l'on a affaire à une denrée alimentaire contenant plusieurs sortes de protéines, on adopte Le facteur conventionnel de 6,25 (correspondant à un taux moyen d'azote de 16 %).

Céréales (blé) 5.70

❖ Matériels (Voir annexe C)

Matériel courant de laboratoire, et notamment :

- Balance analytique ;
- Matras de Kjeldahl ;
- Dispositif de chauffage (minéralisateur ou digesteur) pouvant atteindre les $400^{\circ}C$;
- Appareil d'entraînement par la vapeur (distillateur de Kjeldhal) ;

- Burette.

❖ **Produits**

- Acide sulfurique concentré ;
- Papier joseph dépourvu d'azote dans lequel on effectue la prise d'essai ;
- Catalyseur : sulfate de potassium (dix parties),
- Sulfate de cuivre (une partie)
- Solution d'acide sulfurique titrée 0,1 N ;
- Acide borique (40 g/litre) ;
- Hydroxyde de sodium 10N (400g d'hydroxyde de sodium dans une litre d'eau distillée) ;
- Phénolphtaléine ;
- Indicateur coloré (TASHIRO) : (deux parties de rouge de méthyle à 0,2% dans l'alcool et une partie de bleu de méthyle à 1,2% dans l'eau) ;

❖ **Mode opératoire**

❖ **Prise d'essai**

Introduire dans le matras environ de 1 à 5 grammes de couscous dans un papier joseph suivant la teneur présumé en azote et le degré d'homogénéisation du produit.

❖ **Minéralisation**

- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique concentré et 1g de catalyseur ;
- Procéder à la minéralisation en augmentant progressivement la température pendant près de 6 heures jusqu'à ce que le liquide devient limpide et aie une coloration verte stable ;

❖ **Distillation**

- Laissez refroidir puis transvaser le contenu dans une fiole de 100 ml, compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée ;
- Verser dans une phénolphtaléine ;
- Alcaliniser le milieu avec du NaOH 10N la couleur devient rose ;
- Adapter au distillateur BUCHI, le distillat récupéré de couleur verte est recueilli dans un Erlenmeyer de 250 ml contenant 20 ml d'acide borique et quelques gouttes d'indicateur colorée (tashiro).
- Poursuivre la distillation jusqu'à récupération d'environ 200 ml de distillat.

❖ **Titrage**

- Le titrage doit se faire aussi rapidement que possible par une solution d'acide sulfurique 0,1 N On considère que le virage est atteint lorsque la coloration violette persiste.
- Un essai à blanc doit être inclus dans chaque série de dosage.

❖ **Exploitation des résultats**

La teneur en azote total exprimée en gramme d'azote pour cent grammes d'échantillon est donnée par la formule suivante :

$$N = \frac{(V1 - V0) \times 14 \times 0.1}{m}$$

Où :

V1 : est le volume en millilitres, de la solution d'H2 SO4 utilisé pour la prise d'essai ;

Vo : est le volume en millilitres, de la solution d'H2 SO4 utilisé pour l'essai à blanc ;

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

Le résultat de la détermination est exprimé en protéines après multiplication de la teneur en azote total par un coefficient approprié correspondant à la composition du produit.

* Les produits composés à 90% de dérivés de céréales : 5,7.

Chapitre II

Résultats et discussion

II.1. Résultats d'analyses de blé dur

II.1.1 Taux d'impuretés (agréage du blé) :

Selon les résultats illustrés dans la **Figure 20**, nous constatons que :

Le taux des grains mouchetés varie entre la valeur minimale 0.62 % (échantillon 05) et la valeur maximale 1.33 % (échantillon 01) autour d'une moyenne 0.958 % et un écart-type 0.30 (échantillons homogènes). Nos échantillons sont conformes aux **norme ISO 11051 -1994** qui exige un seuil maximum de 5,8 % de grains mouchetés.

Le taux des grains échaudés varie entre la valeur minimale 0.03 % (échantillon 05) et la valeur maximale 2.1 % (échantillon 01) autour d'une moyenne 1.216 % et un écart-type 0.75. Nos échantillons sont conformes aux **norme ISO 11051 -1994** qui exige un seuil maximum de 05 % de grains échaudés.

Selon **ABECASSIS et al, 2021** La présence de grains échaudés à une incidence sur le rendement en mouture il corrèle avec la masse à l'hectolitre (ou Poids Spécifique) est également affectée.

Le taux des grains cassés varie entre la valeur minimale 1.9 % (échantillon 04) et la valeur maximale 3.6 % (échantillon 03) autour d'une moyenne 2.658 % et un écart-type 0.72. Nos échantillons sont conformes aux norme ISO 11051 -1994 qui exige un seuil maximum de 07 % de grains cassés. Selon **ABECASSIS et al, 2021** la présence de grains cassés altère le rendement semoulier et pose des problèmes de conservation par la dégradation biochimique des constituants des grains.

Le taux des matières étrangères varie entre la valeur minimale 0.2 % (échantillon 01,04 et 05) et la valeur maximale 0.3 % (échantillon 02 et 03) autour d'une moyenne 0.24 % et un écart-type 0.05. Nos échantillons sont conformes aux norme ISO 11051 -1994 qui exige un seuil maximum de 03 % de matières étrangères. Selon **ABECASSIS et al, 2021** les méthodes de recherche des impuretés n'imposent pas la détermination de ces graines, mais uniquement une séparation.

Le taux des grains de blé tendre varie entre la valeur minimale 0.7 % (échantillon 05) et la valeur maximale 1.2 % (échantillon 02) autour d'une moyenne 0.94 % et un écart-type 0.20. Nos échantillons sont conformes aux norme **ISO 11051 -1994** qui exige un seuil maximum de 03 % de grains de blé tendre.

Le taux d’orge varie entre la valeur minimale 0.17 % (échantillon 05) et la valeur maximale 0.53 % (échantillon 01) autour d’une moyenne 0.28 % et un écart-type 0.14. Nos échantillons sont conformes aux **norme ISO 11051 -1994** qui exige un seuil maximum de 03 % d’orge. Selon **ABECASSIS et al, 2021** les méthodes de recherche des impuretés n’imposent pas la détermination de ces graines, mais uniquement une séparation.

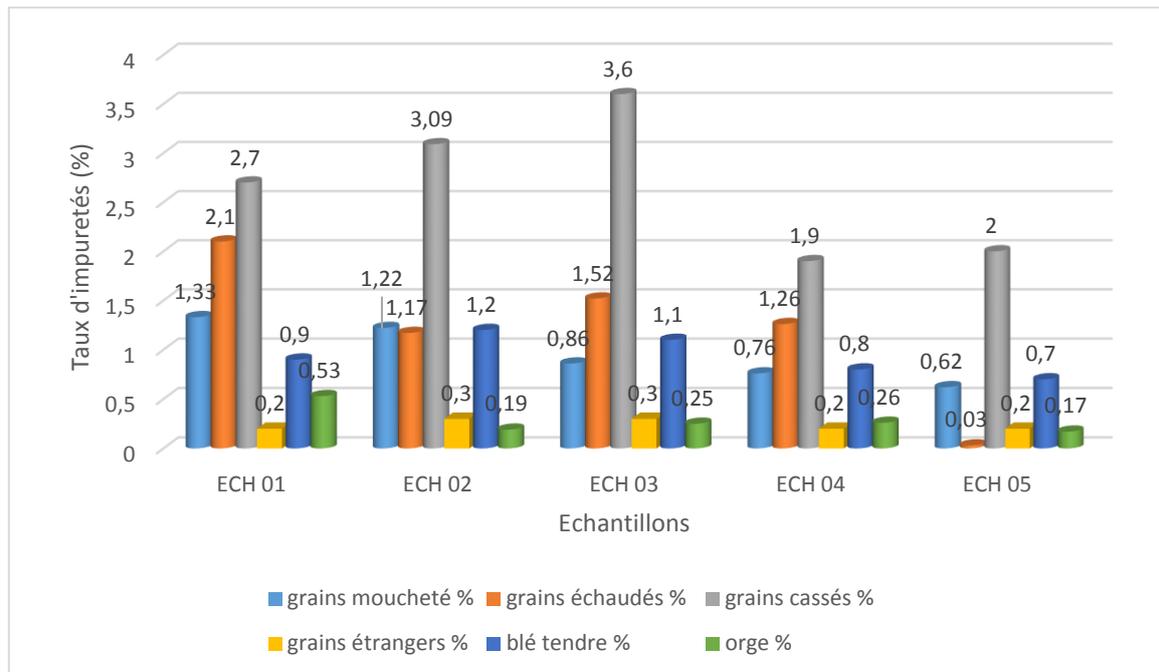


Figure 20 : Résultats d’analyses de taux impuretés (agréage du blé)

II.1.2 Taux du mitadinage

A la lumière des résultats obtenue du taux de mitadinage pour l’ensemble des cinq échantillons étudiés illustrés dans la **Figure 21**, nous constatons que :

Les valeurs du taux de mitadinage varient entre la valeur minimale 4.08 % qui correspond à l’échantillon 01 et la valeur maximale 9.66 % qui correspond à l’échantillon 04 autour d’une moyenne 7.21 % et un écart-type 2.37.

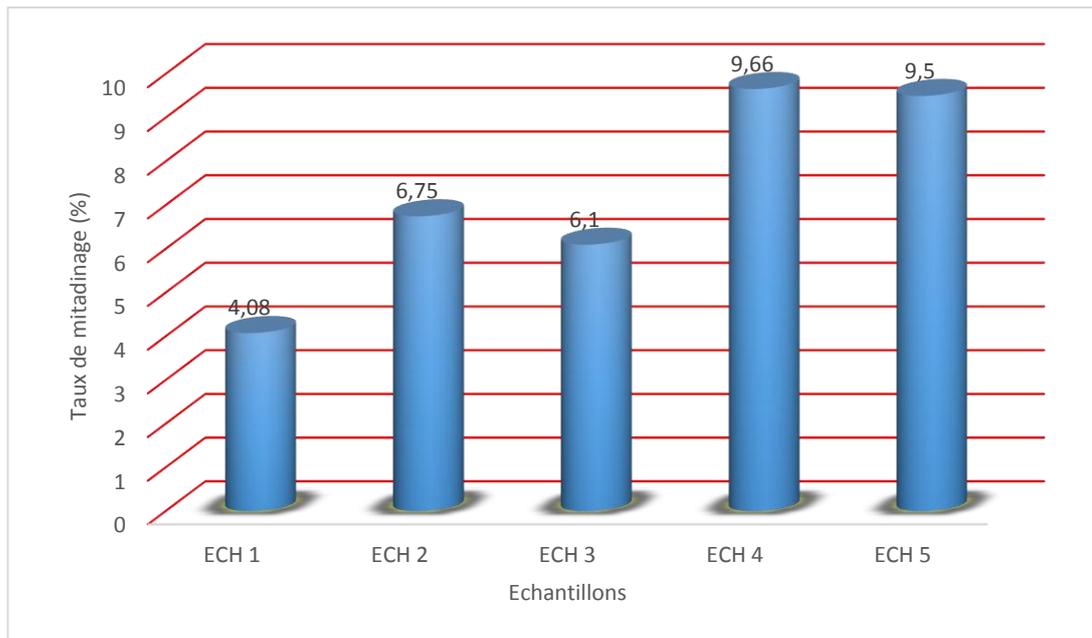


Figure 21 : Résultats de détermination de taux du mitadinage

Nos échantillons sont conformes aux normes algériennes (**J.O 32 de 10 aout 1988**) qui exige un taux de mitadinage inférieur à 20 %, et aux norme **ISO 11051** qui exige un seuille inférieur à 40 %

La qualité commerciale type indique que moins de 20 % des grains peuvent être mitadinés, au-delà de 40 %, le blé dur est vendu au prix du blé tendre.

Selon **BERKE, 1966** l'importance industrielle du mitadinage tient, en effet, que les grains mitadinés ont tendance à s'effriter à la mouture et à donner non pas de la semoule, produit normal du blé dur (destiné, en particulier, à la fabrication des pâtes alimentaires) mais une farine de qualité inférieure à celle donnée par le blé tendre, dite gruau.

ABECASSIS et al, 2021 ont conclu également que les blés présentant un taux de mitadinage élevé par rapport à un taux moyen de 20 à 40 % sont des blés de mauvaise qualité. De plus il entraine une diminution du rendement semoulier, et la semoule sera dépréciée par la présence des piqûres blanches dans la pâte.

Le mitadinage est très lié à la nutrition azotée tardive (pré et postfloraison) et à la composition protéique des grains qui en résulte. L'apport d'azote fractionné avec un apport tardif (floraison) améliore la teneur en protéines.

Les lots de blé dur sont de qualité marchande.

II.1.3 La teneur en eau

Les résultats obtenus illustrés dans la **Figure 22**, varient entre la valeur minimale 10,07 % qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) et la valeur maximale 13.1 % qui correspond à l'échantillon 05 (mitadiné à 9.5 %) autour d'une moyenne 11.65 et un écart-type 1.16.

Cela est dû au bon stockage et conservation des blés durs dans les silos.

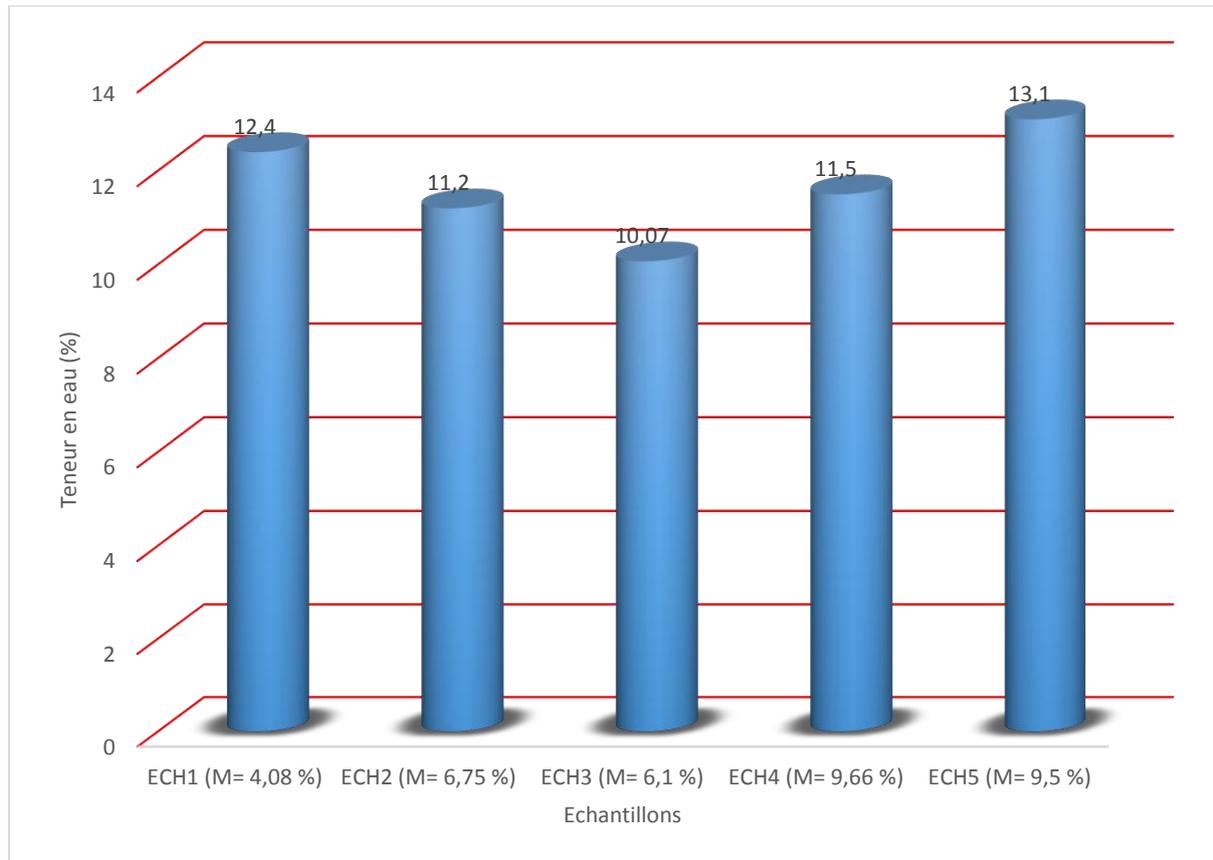


Figure 22 : Résultats de détermination de la teneur en eau

Les teneurs en eau pour les cinq échantillons de blé dur analysés sont conformes aux norme **codex alimentarius STAN 199-1995** qui exige un seuil maximum de 14.5 %. Selon la ladite norme : une teneur moindre en eau peut être exigée pour certaines destinations, compte tenu du climat, de la durée du transport et de celle du stockage.

Le but de l'analyse de la teneur en eau permet de déterminer l'aspect technologique, l'aspect analytique et l'aspect commerciale.

En exploitent les résultats d'analyses de la corrélation entre le mitadinage et la teneur en eau de blé dur, on obtient le coefficient de corrélation « r » :

$$r (\text{mitadinage-teneur en eau}) = 0.23$$

Il existe une légère corrélation entre le taux de mitadinage et le taux de teneur en eau.

II.1.4 Le poids spécifique (PS)

Les résultats obtenus illustrés dans la **Figure 23** varient entre la valeur minimale 78.88 Kg/Hl qui correspond à l'échantillon 05 (mitadiné à 9.5 %) et la valeur maximale 83.16 Kg/Hl qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) autour d'une moyenne 50.8 g et un écart-type 6.53.

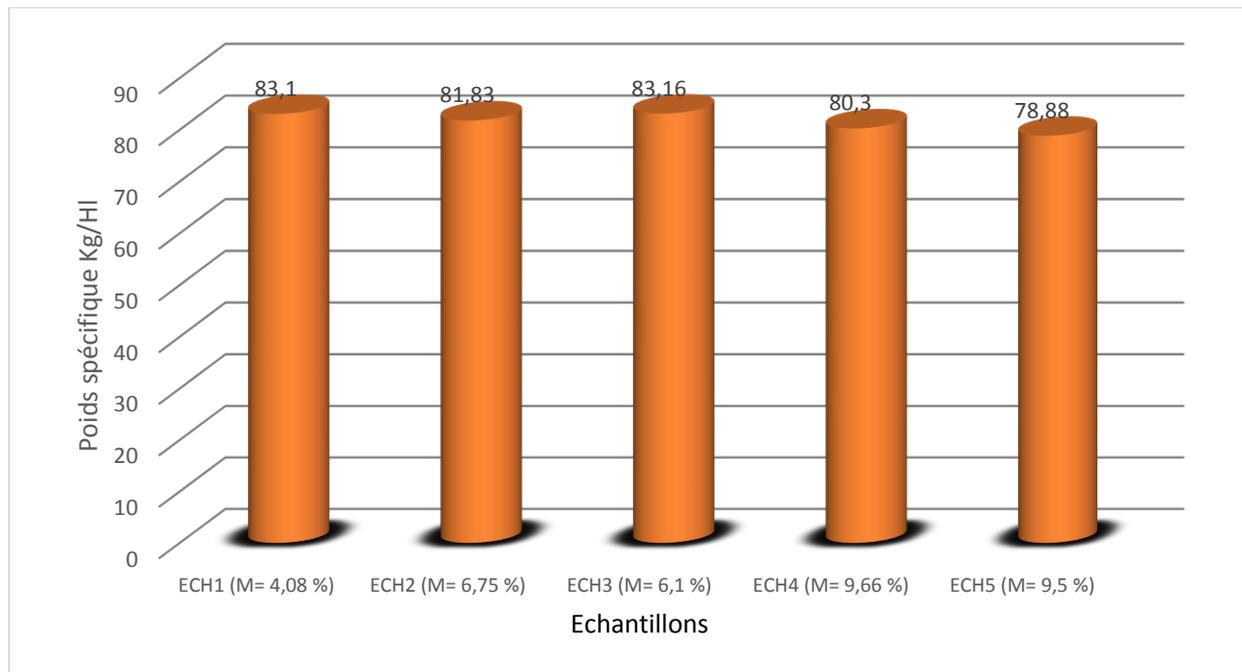


Figure 23 : Résultats de détermination du poids spécifique

Nous remarquons que le poids spécifique (PS) pour les cinq échantillons de blé dur analysés sont conformes aux normes **EN 15587** et **JO 10 aout 1988** qui exige un poids spécifique égale ou supérieur à 78 Kg/Hl.

En exploitent les résultats d'analyses de la détermination du poids spécifique, on obtient le coefficient de corrélation « r »:

$$r (\text{mitadinage-PS}) = - 0.90$$

Il existe une corrélation négative importante entre le taux de mitadinage et le poids spécifique (PS), c'est-à-dire plus le mitadinage augmente, plus le PS diminue. (**Fig 24**)

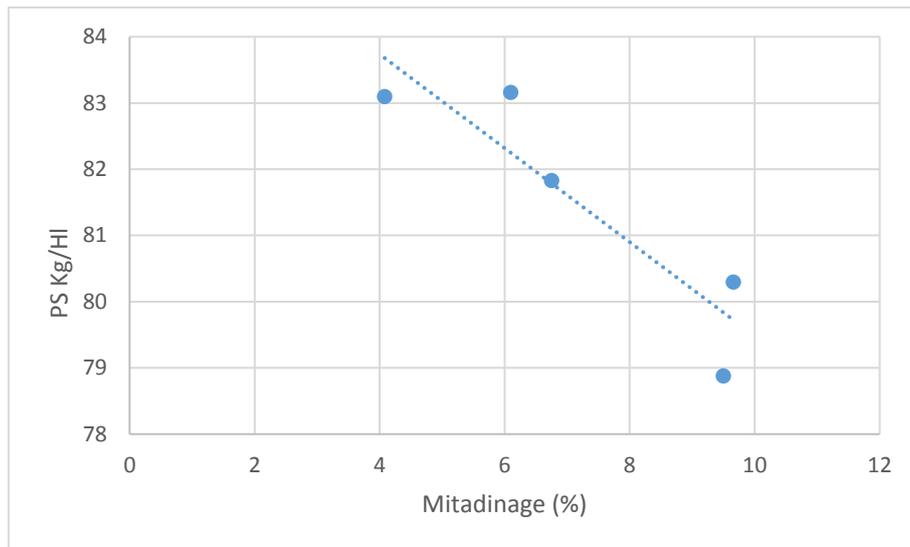


Figure 24 : Corrélation entre le mitadinage et le poids spécifique

La masse volumique dite masse à l'hectolitre, appelée communément poids spécifique (P.S), est une mesure ancienne qui date de l'époque où l'on mesurait la quantité des grains au volume. Elle présente un intérêt commercial certain : la masse volumique est toujours prise en compte dans les transactions bien que son intérêt technique soit très limité. (NF V03-719)

selon FEILLET, 2000 la présence d'impuretés de gros volume mais de faible densité (pailles, balles), provoque une diminution du P. S à l'inverse, la présence d'impuretés denses et de petit volume (cailloux) provoque son augmentation de même, les mesures pratiquées sur des grains humides entraînent généralement une sous-estimation du P.S due au gonflement des grains et au fait qu'ils se rangent moins bien dans le volume, mais dans certaines conditions, l'eau peut être absorbée sans provoquer le gonflement des grains et le P.S augmente, la densité de l'eau étant plus élevée que celle du grain. C'est un indicateur de la qualité commerciale.

II.1.5 Le poids de 1000 grains (PMG)

Les résultats obtenus illustrés dans la Figure 25, varient entre la valeur minimale 43 g qui correspond à l'échantillon 01 (mitadiné à 4.08 %) et la valeur maximale 61 g qui correspond à l'échantillon 05 (mitadiné à 9.5 %) autour d'une moyenne 50.8 g et un écart-type 6.53.

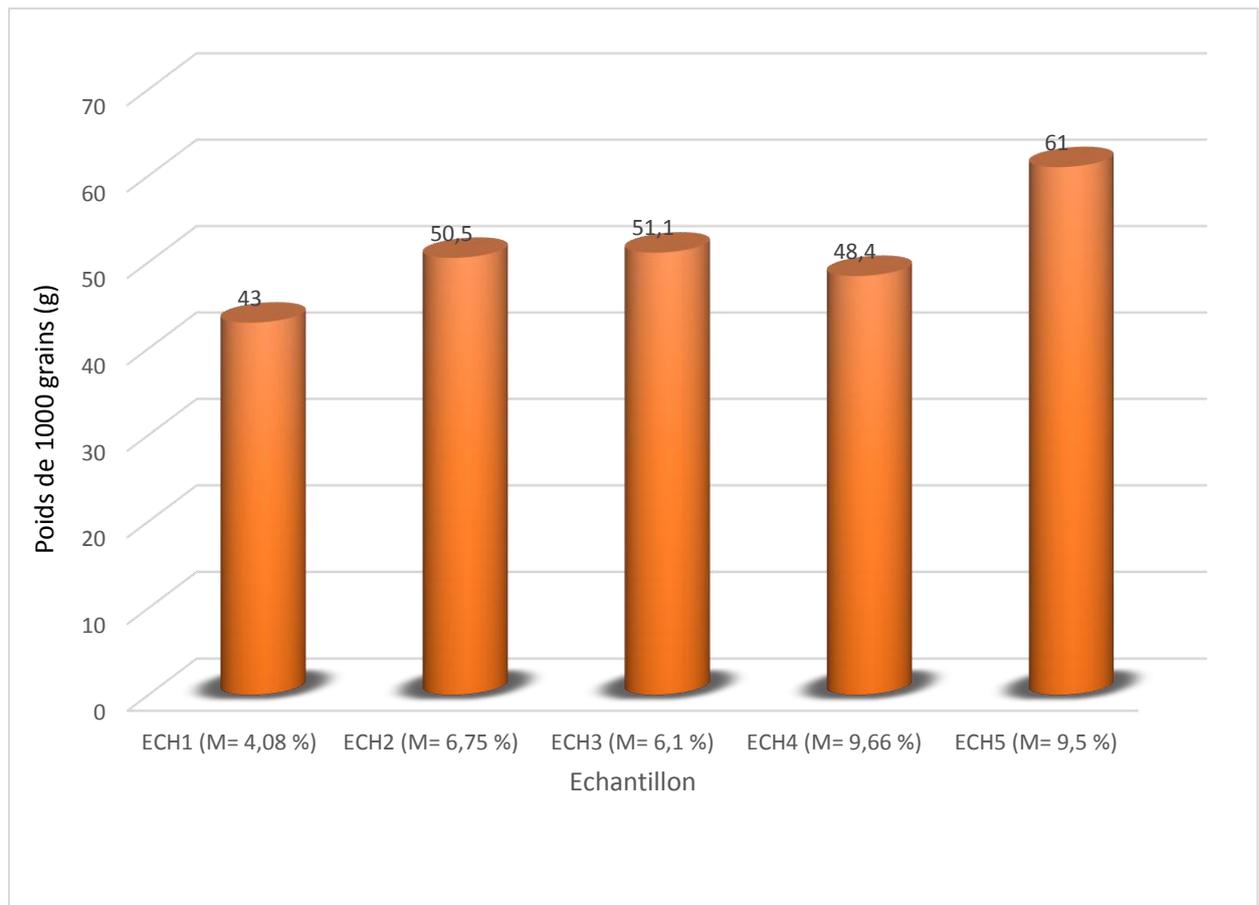


Figure 25 : Résultats de détermination du poids de 1000 grains (PMG)

Selon la norme **ISO 11051**, le poids de 1000 grains (PMG) pour les cinq échantillons de blé dur analysés est conforme.

Chez les céréales, le poids de mille grains (PMG) est un paramètre qui décrit la capacité d'accumulation des substances de réserves en conditions environnementales optimales. Le remplissage des grains se fait essentiellement par les assimilats récemment photosynthésés. Les limitations qui apparaissent à ce niveau (remplissage du grain) sont liées beaucoup plus à la capacité des grains au stockage (puits), qu'aux capacités photosynthétiques (source). Cependant, les conditions climatiques peuvent influencer le PMG (**GRIGNAC, 1964**).

Selon **DEXTER et MATSUO, 1977**, le poids de mille grains (PMG) est un critère variétal ; il peut subir des fluctuations liées en particulier à l'échaudage, qui résulte d'une maturation hâtée et fournit un grain ridé, riche en son. La présence de grain échaudé a une incidence sur le rendement en mouture.

Selon **KHAN, 1996**, Le poids de mille grains (PMG) est déterminé sur un échantillon de grains entiers exempts de tout corps étranger et de grains brisés . Les grains plus lourds ont un pourcentage plus élevé d'endosperme que les plus légers et ont donc le potentiel de produire un meilleur rendement en semoule. Cela peut s'expliquer par le fait que la densité de l'endosperme 1,46 g / cm³ (composé d' environ 87,5 % d' amidon à 1,48 g / cm³ ' et de 1,25 % de protéines à 1,32 g / cm³ ') est supérieure à celle du son , soit environ 1,27 g / cm³ . Le PMG peut être corrigé en poids de matière sèche en éliminant l'humidité du blé qui affecte le poids en hectolitre. Les informations générées concernant le PMG du blé et du mélange de blé sont l'un des paramètres que le meunier utilise dans le réglage des cylindres de broyage dans le moulin.

En exploitent les résultats d'analyses de la corrélation entre le mitadinage et de poids de 1000 grains, on obtient le coefficient de corrélation « r » :

r (mitadinage-PMG) = 0.85

Nous remarquons une forte corrélation entre le mitadinage et le poids de 1000 grains (PMG) c'est-à-dire plus le mitadinage augmente plus le PMG tend à s'élèver . (**Fig 26**)

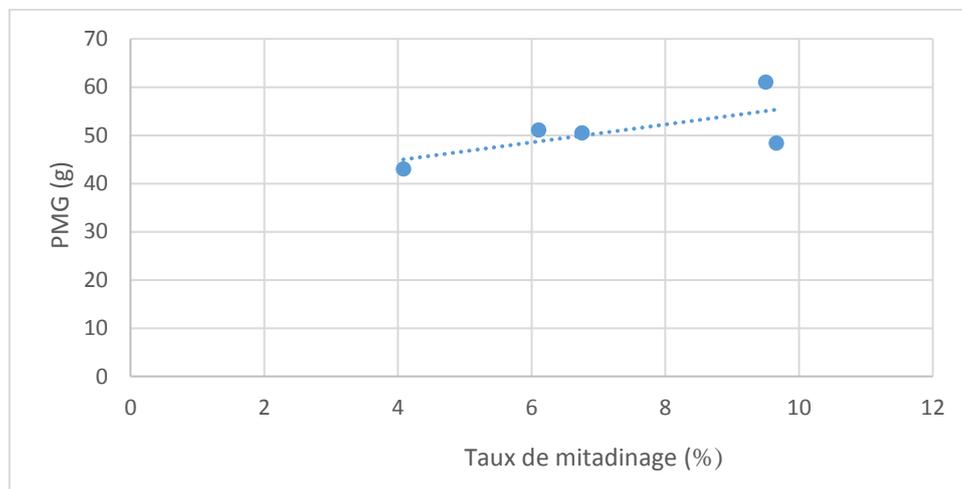


Figure 26 : Corrélation entre le mitadinage et poids de 1000 grains

II.2. Résultats des analyses de semoule

II.2.1 La granulation

Les résultats illustrés dans la **Figure 27** montrent que :

- **les particules de semoule dont le diamètre est supérieur à 710 μ m :**

Les valeurs varient entre la valeur minimale 4 g qui correspond à l'échantillon 04 et 05 (respectivement mitadiné à 9.66 % et 9.5 %) et la valeur maximale 10 g qui correspond à l'échantillon 02 et 03 (respectivement mitadiné à 6.75 % et 6.1 %) autour d'une moyenne 7.4 g et un écart-type 3.13.

- **les particules de semoule dont le diamètre est compris entre 710 μ m et 355 μ m :**

Les valeurs varient entre la valeur minimale 86 g qui correspond à l'échantillon 01 (mitadiné à 4.08 %) et la valeur maximale 95 g qui correspond à l'échantillon 04 et 05 (respectivement mitadiné à 9.66 % et 9.5 %) autour d'une moyenne 90.6 g et un écart-type 4.15.

- **les particules de semoule dont le diamètre est inférieur à 350 μ m :**

Les valeurs varient entre la valeur minimale 1 g qui correspond à l'échantillon 02, 03, 04 et 05 (respectivement mitadiné à 6.75 %, 6.1 %, 9.66 % et 9.5 %) et la valeur maximale 5 g qui correspond à l'échantillon 01 (mitadiné à 4.08 %) autour d'une moyenne 1.8 % et un écart-type 1.78.

Une granulométrie homogène permet un écoulement uniforme de la semoule dans les dispositifs d'alimentation mécanique et une bonne élaboration de la pâte dans les presses continues.

Selon la taille des particule de semoule la plus remarquée, nous remarquons que la la semoule analysée est une semoule moyenne.

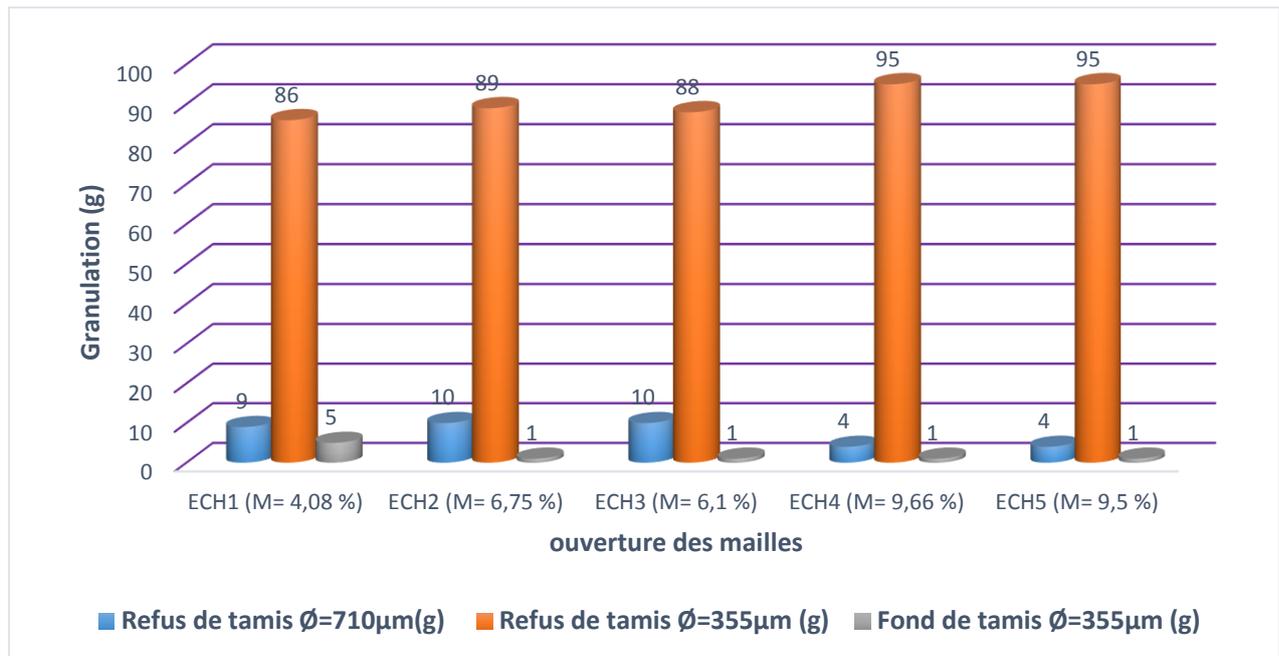


Figure 27 : Résultats de la détermination de la granulation

Selon **KHAN 1996**, la distribution de la granulation des particules d'endosperme est une importance primordiale. Les systèmes de production de pâtes traditionnels et semi-artisanaux n'utilisent que de la semoule grossière. Les nouvelles usines de pâtes avec des systèmes à ultra-haute température utilisent de la semoule avec une granulométrie allant de 350 à 125 μm en plus d'environ 6 à 8 % de semoule. Pour ajuster la granulation de la semoule aux spécifications requises, des rouleaux et des tamis supplémentaires sont incorporés dans le flux du broyeur. Certains clients de l'usine spécifient la semoule fine et la farine comme matière première. Pour rebroyer la semoule de blé dur, on utilise des rouleaux supplémentaires finement ondulés qui ajoutent environ un tiers supplémentaire de la surface totale des rouleaux dans le broyeur. Certains systèmes de mouture de blé dur ne produisent que de la farine de blé dur. De tels systèmes doivent être conçus, ajustés et contrôlés pour atteindre la qualité et le rendement souhaités.

Selon **DICK et MATSUO, 1988**, La granulométrie de la semoule affecte les propriétés d'absorption des pâtes et par conséquent la qualité du produit fini

D'après **FEILLET, 2000** le comportement des matières premières au cours de leur transformation, notamment la quantité d'eau absorbée ainsi que la vitesse d'hydratation en dépend pour beaucoup. Elle joue aussi un rôle important dans le comportement de la pâte lors

de son hydratation, ce qui influence l'aspect et la fermeté du produit fini (**PETITOT et al., 2009**).

Selon notre étude la corrélation entre le mitadinage et la granulation est insignifiante car la granulation est un choix normatif et commercial pour le fabricant (la norme **codex stan 178-1991** stipule que les semoules de blé dur utilisées dans la fabrication des pâtes alimentaires sont en général d'une granulométrie supérieure ou égale à 212 um.)

II.2.2 L'indice du gluten

Les résultats illustrés dans la **Figure 28**, varient entre la valeur minimale 63.535 % qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) et la valeur maximale 65.495 % qui correspond à l'échantillon 01 (mitadiné à 4.08 %) autour d'une moyenne 64.24 % et un écart-type 0.75.

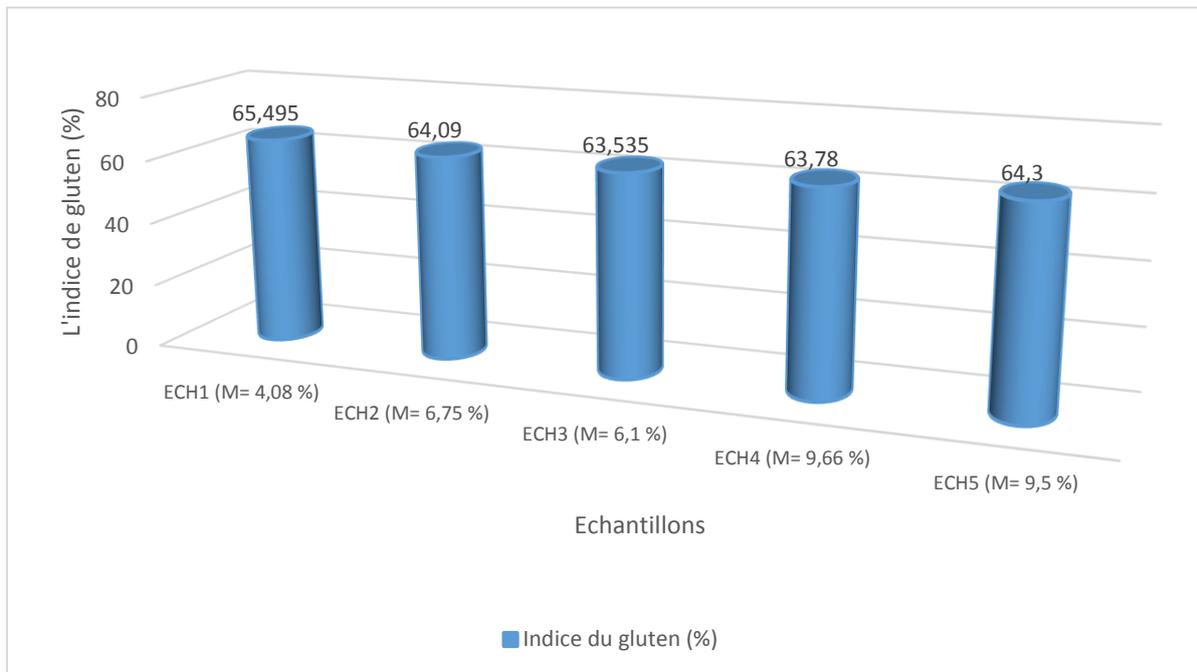


Figure 28 : Résultats de détermination de l'indice du gluten

Nous constatons que l'indice du gluten pour les cinq échantillons de semoule analysés ont un gluten équilibré et sont de bonne valeur technologique.

Selon **BOUDREAU & MENARD 1992** la teneur en protéines et la qualité du gluten des semoules exercent une influence sur la qualité des pâtes. Plusieurs appareils peuvent être utilisés pour caractériser le gluten

Les travaux de **PERTEN, 1990** ont permis de mettre en évidence trois classes de gluten en fonction du gluten index : Gluten index compris entre 0 et 60 % ms : gluten mou, extensible, peu élastique, valeur technologique faible.

Gluten index compris entre 60 et 90 % ms : gluten équilibré, bonne valeur technologique. Tous nos échantillons de semoule étudiées appartiennent à cette classe

Plus le taux de gluten augmente, plus les pâtes montrent une élasticité élevée.

Selon la norme **NF ISO 5527**, le gluten est une matière riche en protéines, à propriétés viscoélastiques, qui se forme lorsque la semoule est mélangée à de l'eau dans une pâte, et qui peut être isolée par un lavage qui élimine les particules de l'albumen riche en amidon, les parois cellulaires ainsi que les protéines solubles :

La force du gluten a été largement mentionnée comme un facteur secondaire important pour une qualité de cuisson des pâtes supérieure, cependant, la relation entre la force du gluten et la qualité de cuisson des pâtes est complexe et non concluante (**MASCI et COLL., 2000 ; SISSONS, 2008**).

Selon **KHAN 1996** les caractéristiques rhéologiques et physico-chimiques du gluten conditionnent pour une large part, la qualité technologique et commerciale des semoules et par la même, leur qualité industrielle et leur aptitude à la pastification Par contre les pourcentages des Indices de Gluten ont augmentés progressivement à chaque fois qu'on rajoute du 3SF aux différents essais. Les grains non vitreux ont généralement une teneur en gluten et protéines inférieure à celle des grains vitreux. Typiquement, il est souhaitable que le blé dur utilisé pour la production de pain et de pâtes alimentaires contienne un pourcentage élevé de grains vitreux. Des niveaux élevés de grains vitreux sont importants dans les meilleurs grades de blé dur pour une production efficace de semoule de qualité supérieure, les grains féculents plus tendres donnent moins de semoule grossière et plus de farine, ce qui réduit le potentiel de mouture. En revanche, pour le blé dur tendre, où le produit final souhaité est la farine, l'amidon a peu d'impact sur les performances de mouture lorsque des farines de qualité ordinaire sont produites.

En exploitant le résultat d'analyses de la corrélation entre le mitadinage et l'indice du gluten de semoule, on obtient :

$$r (\text{mitadinage-index du gluten}) = -0.56$$

Le coefficient de corrélation illustrés dans la **Figure 29**, révèle une corrélation négative entre le taux de mitadinage et l'indice de gluten. C'est-à-dire plus le blé est mitadiné, l'indice de gluten de la semoule tend à diminuer.

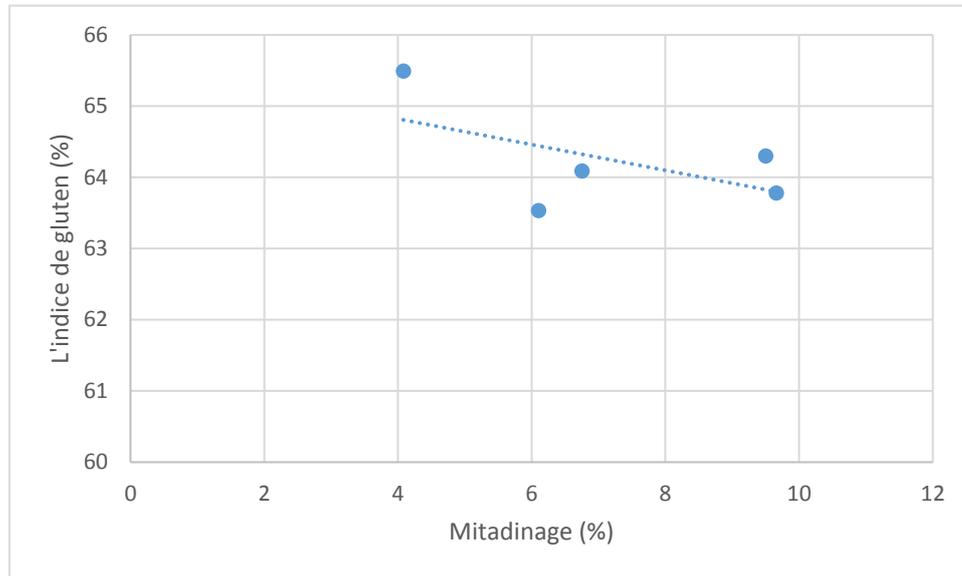


Figure 29 : Corrélation entre le mitadinage et l'indice du gluten

II.2.3 L'indice de sédimentation en milieu SDS

Selon les résultats obtenus et illustrés dans la **Figure 30**, les valeurs oscillent entre la valeur minimale 43.5 ml qui correspond à l'échantillon 05 (mitadiné à 9.5 %) et la valeur maximale 54 ml qui correspond à l'échantillon 01 (mitadiné à 4.08 %) autour d'une moyenne 49.7 ml et un écart-type 4.07.

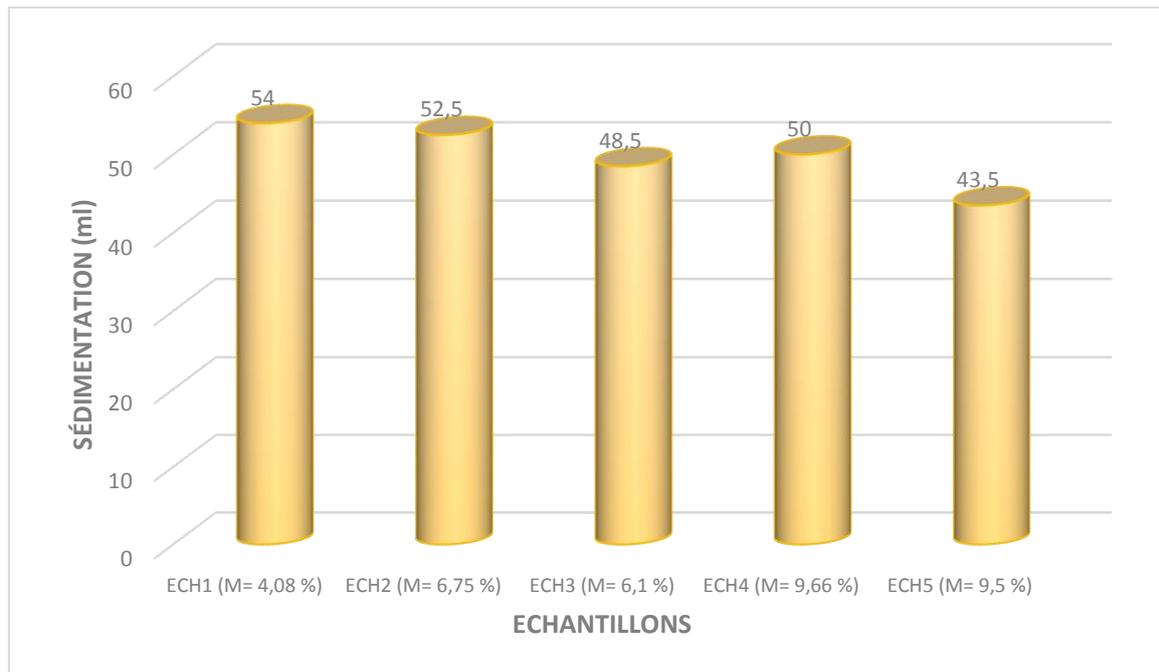


Figure 30 : Résultat de détermination de l'indice de sédimentation en milieu SDS

Nous remarquons que le volume de sédimentation en milieu SDS pour les cinq échantillons de semoule analysés supérieur à la valeur 35 ml exigé pour le blé dur.

Selon **TRENTESAUX, 1995** l'indice de sédimentation permet avec des réserves et on particulier en fonction de la méthode utilise une bonne discrimination ; l'avantage de ce type d'analyse qu'il nécessite qu'une prise d'essai de faible quantité ce qui peut intéresser le sélectionneur

Selon **ROYO et al 2009**, ont classe les variétés du blé dur en fonction des valeurs de volume de sédimentation SDS, en effet, une valeur de 30 ml indique un gluten faible et une valeur supérieure ou égale 35 ml indique un gluten fort. Les faibles valeurs de SDS seraient dues à la faible quantité de la fraction gluténine.

Selon **ABECASSIS et al, 2021** le test de sédimentation SDS constitue un bon indicateur de la qualité du gluten de blé dur.

Suite à l'analyse statistique basée sur le coefficient de corrélation « r » entre le mitadinage et l'indice de sédimentation de semoule, on obtient :

$$r (\text{mitadinage-Taux de sédimentation}) = -0.69$$

Le coefficient de corrélation illustrés dans la **Figure 31**, révèle une corrélation négative importante entre le mitadinage et la sédimentation c'est-à-dire plus le mitadinage augmente, plus l'indice de sédimentation diminue.

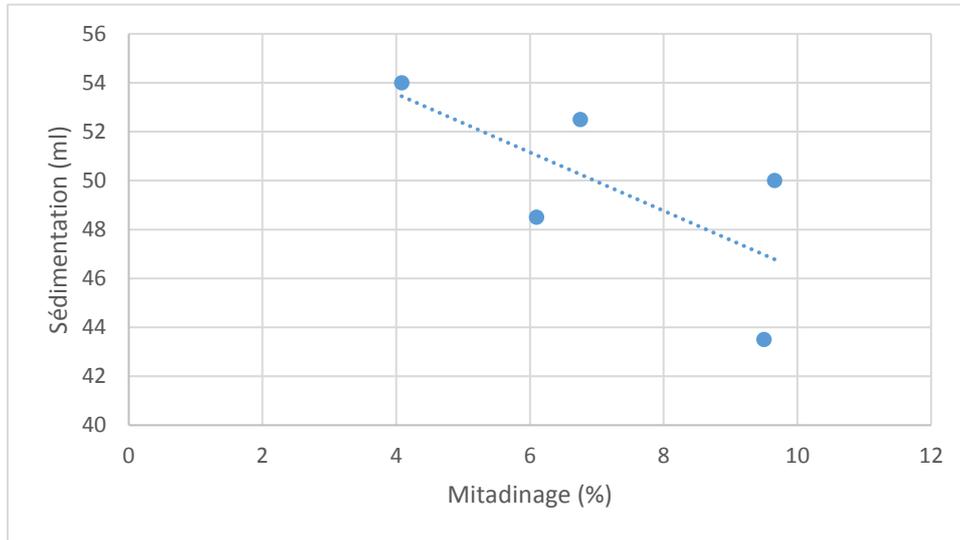


Figure 31 : Corrélation entre le mitadinage et la sédimentation

II.2.4 La teneur en eau

Les résultats illustrés dans la **Figure 32**, varient entre la valeur minimale 11.2 % qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) et la valeur maximale 11.67 % qui correspond à l'échantillon 02 (mitadiné à 6.75 %) autour d'une moyenne 11.37 % et un écart-type 0.17. cela est due au bonnes pratiques de fabrication et une maîtrise du process de mouture.

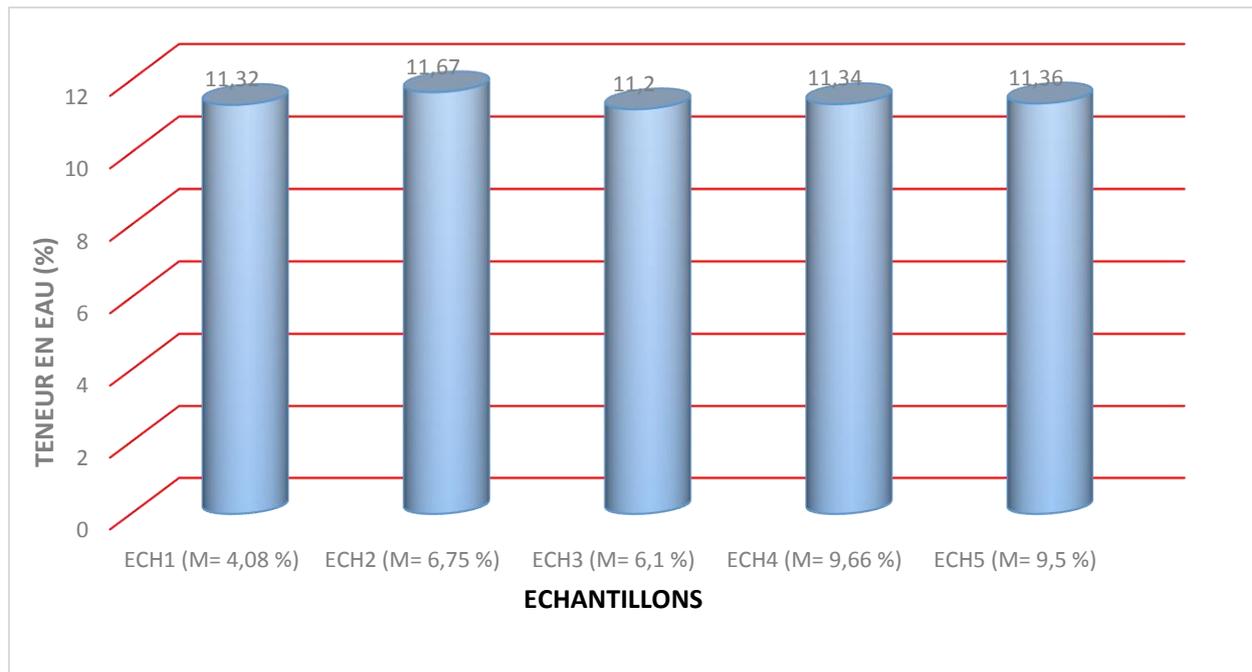


Figure 32 : Résultats de détermination de la teneur en eau

La teneur en eau pour les cinq échantillons de semoule analysés est conforme au norme **codex stan 178-1991** qui exige un seuil maximum égale à 14.5 %.

Le but de l'analyse de la teneur en eau permet de déterminer l'aspect technologique, analytique et commerciale.

En exploitent le résultat de la corrélation entre le taux de mitadage et de la teneur en eau de semoule, on obtient le coefficient « r » :

$$r (\text{mitadage-teneur en eau}) = 0.06$$

Nous remarquons une corrélation négligeable entre le taux de mitadage et la teneur en eau.

II.2.5. Taux de cendres

Les résultats obtenus illustrés dans la **Figure 33**, varient entre la valeur minimale 0.985 % qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) et la valeur maximale 1.13 % qui correspond à l'échantillon 04 (mitadiné à 9.66 %) autour d'une moyenne 1.04 % et un écart-type 0.06.

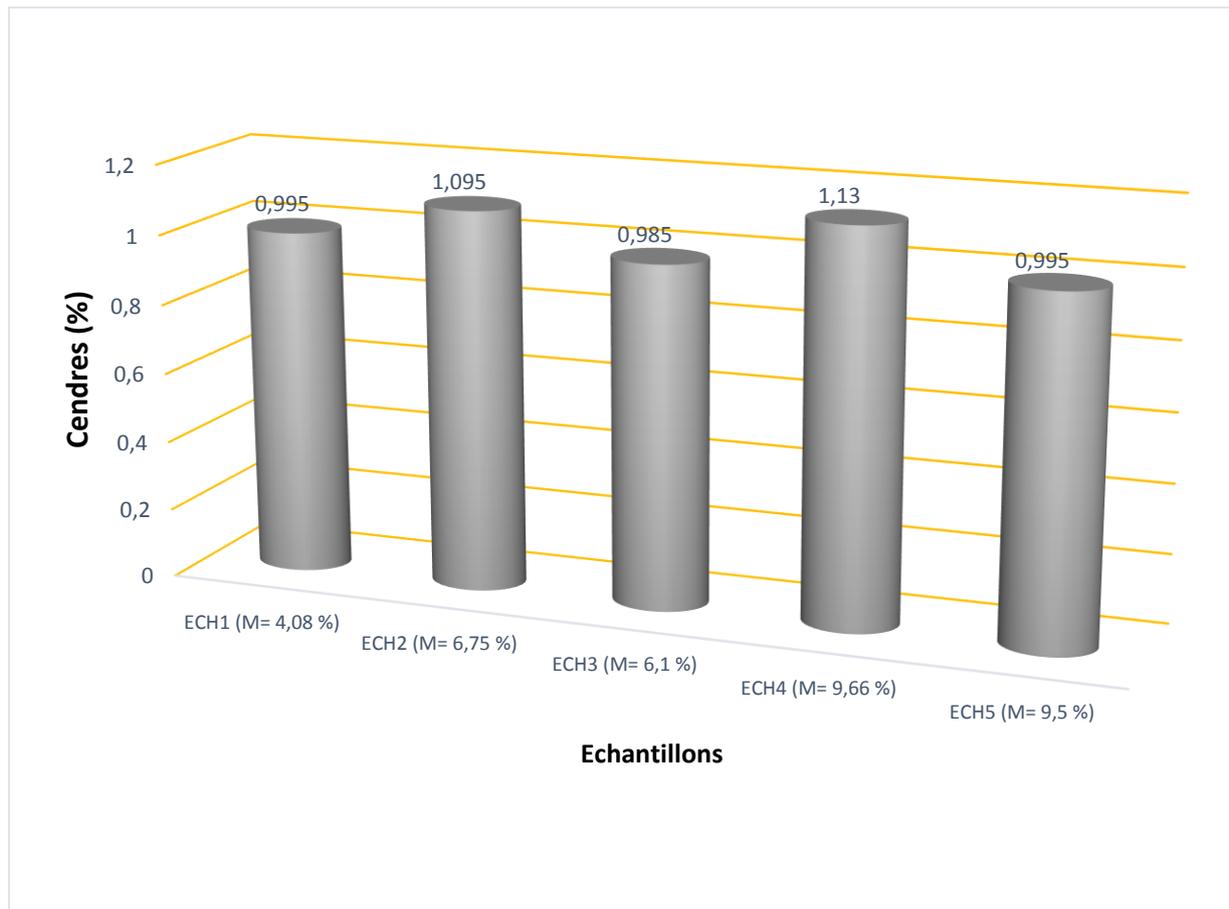


Figure 33 : Résultats de détermination du taux de cendres

Nous remarquons que le taux de cendres pour les cinq échantillons de semoule analysés est conforme à la norme **codex stan 178-1991** qui exige un seuil maximum égale a 1.3 %.

Selon **KHAN 1996**, Les minéraux et oligo-éléments du blé sont majoritairement situés dans la partie externe du grain. La teneur en cendres du son de blé est d'environ 50% et celle du germe de 40% . Ainsi, la teneur en cendres des semoules de blé diminue avec l'augmentation du taux d'extraction. La teneur en cendres d'un produit de blé peut être utilisée pour décrire et spécifier le produit de blé. La différence de teneur en minéraux ou en oligo-éléments entre les grains entiers et la semoule de blé est dans la plupart des cas de deux à quatre fois (potassium 2,7 fois , calcium 2,3 fois , cuivre 2,4 fois) , mais elle peut être quintuple (magnésium) voire nonuple (manganèse) . Dans certains cas, le taux d'extraction n'a qu'un effet modéré sur la teneur en oligo-élément. Cela se voit surtout dans les éléments qui ne sont pas essentiels pour les plantes, comme le chrome, le fluor et l'aluminium.

En exploitent le résultat de la corrélation entre le taux de mitadinage et du taux de cendres de semoule, on obtient le coefficient de corrélation « r » :

$$r (\text{mitadinage-Taux de cendres}) = 0.45$$

Il s'agit d'une légère corrélation entre le taux de mitadinage et le taux de cendre (**Fig 34**)

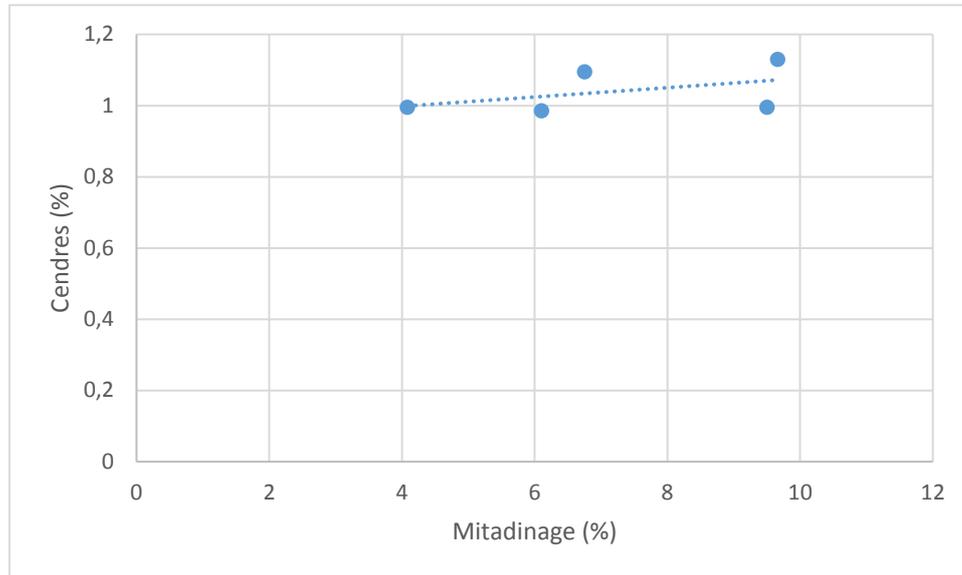


Figure 34 : Corrélation entre le mitadinage et le taux de cendre

II.3 Résultats d'analyse d'eau du process de couscous

Les analyses effectuées sur les échantillons de l'eau du process ont apporté des résultats ci-joints dans le **Tableau 14** suivant :

Tableau 14 : Résultats d'analyses d'eau de process de couscous

Les dates	TH	Chlore libre
Echantillon 1	15	00
Echantillon 2	18	00
Echantillon 3	19	00
Echantillon 4	18	00
Echantillon 5	15	00

Selon Les lignes directrices de l'OMS mises à jour en 2006 en ce qui concerne la qualité de l'eau potable qui sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable, nous remarquons que les échantillons de l'eau prélevée sont conformes.

II.4 Résultats d'analyses du couscous**II.4.1 Détermination des caractères organoleptiques**

Les analyses des caractères organoleptiques effectués sur les échantillons de couscous sont illustrées dans le **Tableau 15** ci-dessous.

Tableau 15 : Résultats d'analyse des caractères organoleptiques de couscous cru

Couscous cru (%)	Caractéristiques		
	Aspect	Odeur	Couleur
Echantillon 1 (Mitadiné à 4.08 %)	Particule de diamètre moyenne	Odeur spécifique de couscous	Jaune foncé
Echantillon 2 (Mitadiné à 6.75 %)			Jaune
Echantillon 3 (Mitadiné à 6.1 %)			Jaune
Echantillon 4 (Mitadiné à 9.66 %)			Jaune clair
Echantillon 5 (Mitadiné à 9.5 %)			Jaune clair

II.4.2 La granulation

Selon les résultats obtenus illustrés dans la **Figure 35** nous constatons que :

- les particules de couscous dont le diamètre supérieur ou égale à 1600 μm :

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 4 g qui correspond à l'échantillon 02 (mitadiné à 6.75 %) et la valeur maximale 22 g qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) autour d'une moyenne 10.8 g et un écart-type 7.30.

- les particules de couscous dont le diamètre supérieur ou égale à 1400 μm :

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 13 g qui correspond à l'échantillon 02 (mitadiné à 6.75 %) et la valeur maximale 44 g qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) autour d'une moyenne 32 g et un écart-type 10.89.

- les particules de couscous dont le diamètre supérieur ou égale à 1250 μm :

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 8 g qui correspond à l'échantillon 05 (mitadiné à 9.5 %) et la valeur maximale 19 g qui correspond à l'échantillon 02 et 04 (respectivement mitadiné à 6.75 % et 9.66 %) autour d'une moyenne 14.6 g et un écart-type 5.

- les particules de couscous dont le diamètre supérieur ou égale à 1120 μm :

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 6 g qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) et la valeur maximale 18 g qui correspond à l'échantillon 02 (mitadiné à 6.75 %) autour d'une moyenne 12.4 g et un écart-type 4.92.

- les particules de couscous dont le diamètre supérieur ou égale à 1000 μm :

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 9 g qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) et la valeur maximale 23 g qui correspond à l'échantillon 02 (mitadiné à 6.75 %) autour d'une moyenne 14.6 g et un écart-type 4.92.

- les particules de couscous dont le diamètre supérieur ou égale à 900 μm :

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 3 g qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) et la valeur maximale 9 g qui correspond à l'échantillon 02 (mitadiné à 6.75 %) autour d'une moyenne 5.4 g et un écart-type 2.05.

- les particules de couscous dont le diamètre supérieur ou égale à 710 μm :

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 3 g qui correspond à l'échantillon 04 (mitadiné à 9.66 %) et la valeur maximale 10 g qui correspond à l'échantillon 02 et 05 (respectivement mitadiné à 6.75 % et 9.5 %) autour d'une moyenne 7.2 g et un écart-type 2.78.

- les particules de couscous dont le fond du tamis (inférieur à 710 μm) :

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 0 g qui correspond à l'échantillon 04 (mitadiné à 9.66 %) et la valeur maximale 4 g qui correspond à l'échantillon 02 (mitadiné à 6.75 %) autour d'une moyenne 2.2 g et un écart-type 1.32.

Selon la norme (**NF V03-721**), le diamètre de couscous se situe dans l'intervalle de 1600 μm et 710 μm , nous pouvons classer notre produit parmi les couscous à granulométrie moyenne. Notre couscous présente une granulométrie plus homogène.

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

Ainsi, la granulométrie à un effet évident sur sa qualité culinaire notamment le gain du poids (absorption) et le temps de cuisson (ANGAR et BELHOUCHE, 2002).

Selon GUEZLANE, 1993, la taille des particules et leur homogénéité dépendent pour une large part des conditions opératoires retenues pour réaliser l'opération de roulage et les caractéristiques des matières premières mises en cuivre.

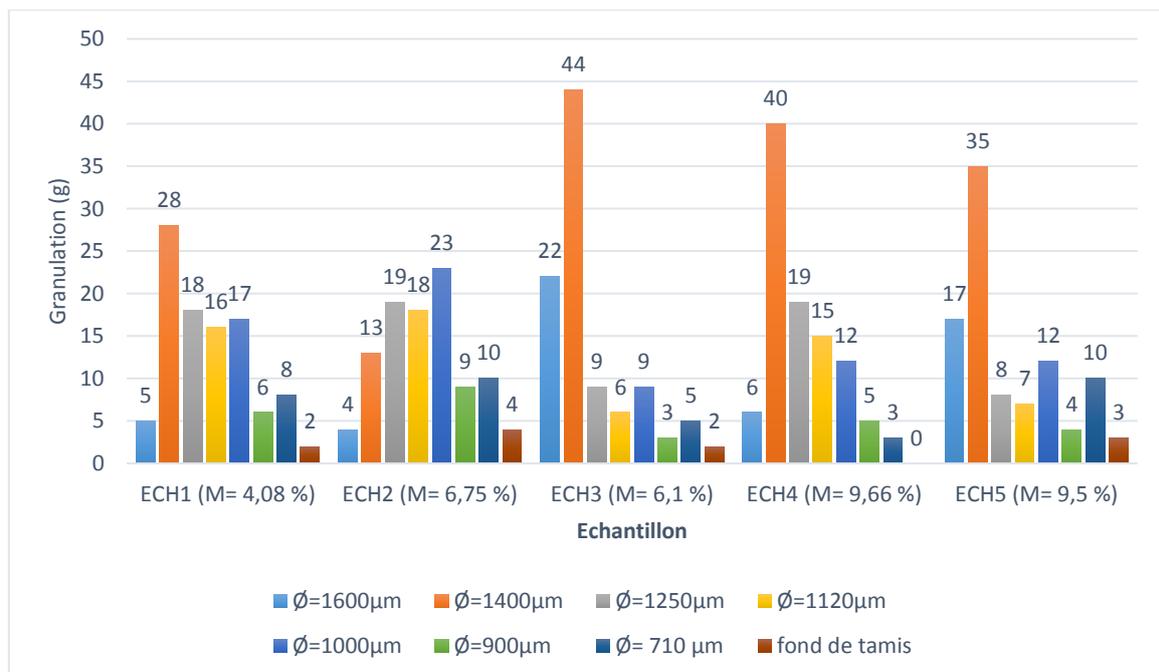


Figure 35 : Résultats de la détermination de la granulation

II.4.3 La colorimétrie

Selon les résultats obtenus illustrés dans la **Figure 36** nous constatons que :

- **Indice de brune b* :**

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 18.34 qui correspond à l'échantillon 04 (mitadiné à 9.66 %) et la valeur maximale 22.73 qui correspond à l'échantillon 01 (mitadiné à 4.08 %) autour d'une moyenne 20.65 et un écart-type 1.77.

- **Indice de jaune a* :**

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale -0.79 qui correspond à l'échantillon 04 (mitadiné à 9.66 %) et la valeur maximale 0.74 qui correspond à l'échantillon 01 (mitadiné à 4.08 %) autour d'une moyenne -0.05 et un écart-type 0.56.

• **Indice de clarté L* :**

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 49.64 qui correspond à l'échantillon 01 (mitadiné à 4.08 %) et la valeur maximale 53.66 qui correspond à l'échantillon 04 (respectivement mitadiné à 9.66 %) autour d'une moyenne 51.76 et un écart-type 1.64.

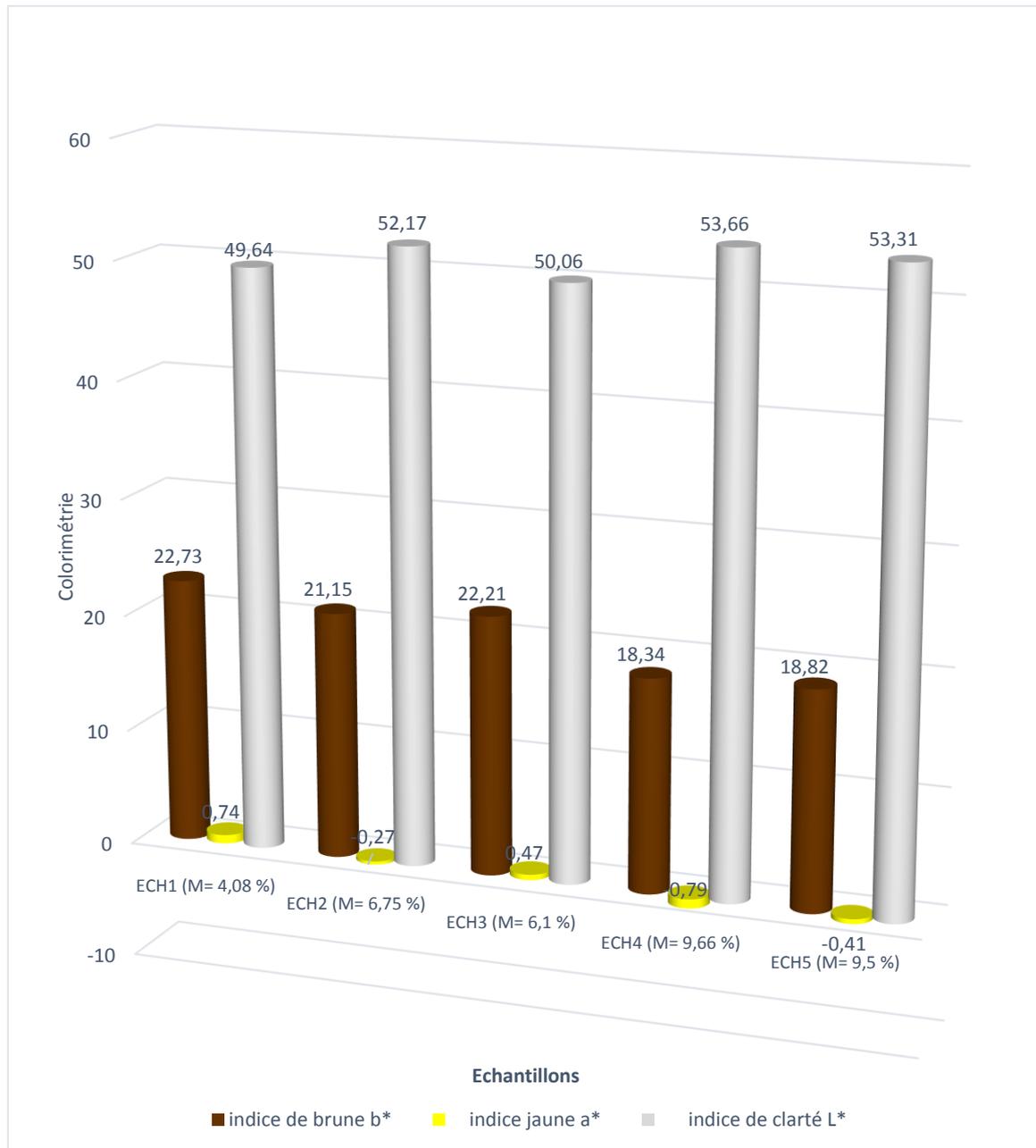


Figure 36 : Résultats de détermination de la colorimétrie du couscous

Selon la norme interne de SARL AMOUR mentionné dans le **Tableau 16**, nous constatant que :

- Nos échantillons de couscous ont un indice de clarté L* compris entre [45 - 54] donc ce sont de qualité moyenne.
- Nos échantillons de couscous ont un indice de jaune a* compris entre [-1.25 - 00] (échantillon 02, 04 et 05 respectivement mitadiné à 6.75 %, 9.66 % et 9.5 %) et > 00 (échantillon 01 et 03 respectivement mitadiné à 4.08 % et 6.1 %) donc ce sont respectivement de qualité moyenne et médiocre.
- Nos échantillons de couscous ont un indice de brune b* compris entre [17 - 20] (échantillon 04 et 05 respectivement mitadiné à 9.66 % et 9.5%) et >20 (01, 02 et 03 respectivement mitadiné à 4.08 %, 6.75 % et 6.1 %) donc ce sont respectivement de qualité moyenne et de qualité satisfaisante.

Tableau 16 : Norme interne de la colorimétrie

L'indice	Qualité médiocre	Qualité moyenne	Qualité satisfaisante
Indice de clarté L*	< 45	[45 – 54]	> 45
Indice de jaune a*	> 00	[-1.25 – 00]	<-1.25
Indice de brune b*	< 17	[17 – 20]	> 20

La notion de couleur est liée à la perception et à l'interprétation subjective de chacun. Pour cette raison, il était nécessaire de créer une méthode standard en se basant sur des propriétés spectrales.

La couleur des grains de couscous dépend en grande partie de la couleur initiale de la semoule de blé dur (**DEBBOUZ et al., 1994**). Elle se traduit dans l'apparence du produit fini par une teinte claire et une couleur jaune ambré. La coloration est influencée par la quantité de pigments caroténoïdes et flavonoïdes ainsi que par la teneur en enzymes lipoxygénasiques et polyphénol-oxydasiques des variétés de blé dur.

Selon **YOUSFI. (2002)**. Et **TRENTESAUX. (1995)**, l'indice de couleur peut déterminer la quantité de pigments présents et par conséquent la pureté du produit à analyser.

L'indice de jaune augmente au cours de la Précuisson du couscous. Selon **YOUSFI (2002)** la perte en caroténoïdes est plus élevée chez les échantillons non précuits que ceux précuit.

Suite à l'analyse statistique basée sur le coefficient de corrélation « r » entre le taux de mitadinage et la colorimétrie on obtient.

$$r (\text{mitadinage-indexe de brune } b^*) = -0.97$$

$$r (\text{mitadinage-indexe de jaune } a^*) = -0.92$$

$$r (\text{mitadinage-indexe de clarté } L^*) = 0.94$$

- Une forte corrélation négative entre les mitadinage du blé dur et l'indice de brune b^* c'est-à-dire plus le taux de mitadinage augmente l'indice de brune b^* diminue.
- Une corrélation négative importante entre les mitadinage du blé dur et l'indice de jaune a^* c'est-à-dire plus le taux de mitadinage augmente l'indice de jaune a^* diminue.
- Une corrélation linéaire importante entre les mitadinage du blé dur et l'indice de clarté L^* c'est-à-dire plus le taux de mitadinage augmente l'indice de clarté L^* augmente. (**Fig 37**)

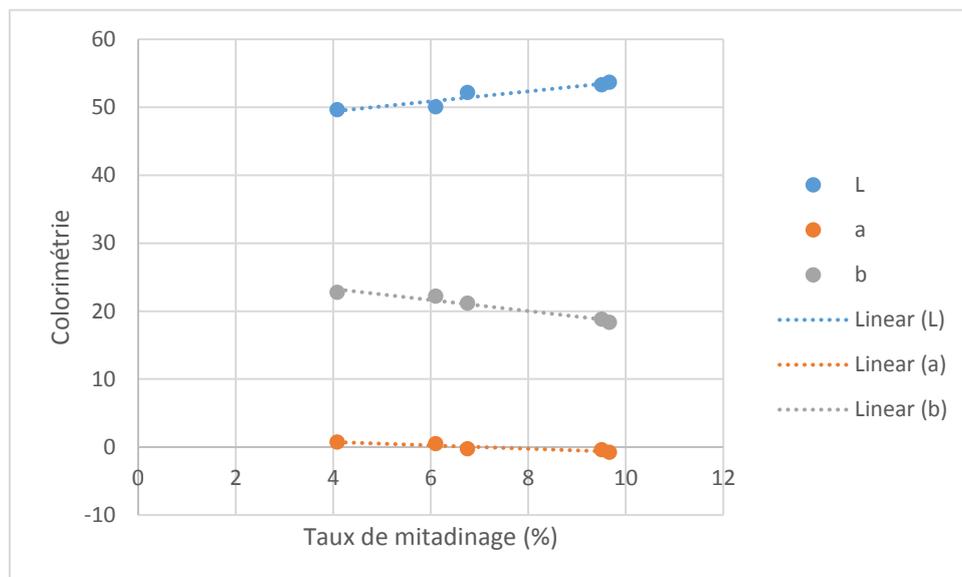


Figure 37 : Corrélation entre le mitadinage et la colorimétrie

II.4.4 Le gonflement du couscous

Gonflement à froid :

L'analyse des résultats montre que la capacité d'absorption d'eau par les grains de couscous, traités par l'eau distillée (**Figure 38**) diffère d'un échantillon à l'autre, Cette différence observée est liée à la qualité de la matière première (teneur en protéines) ainsi que la granulation.

nous remarquons que la vitesse de gonflement du couscous en fonction de temps permet d'obtenir des résultats qui varient entre la valeur minimale 1.59 % après 60 min qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) et la valeur maximale 1.83 % après 60 min qui correspond à l'échantillon 04 (mitadiné à 9.66 %) autour d'une moyenne 1.68 % et un écart-type 0.08.

La quantité d'eau absorbée augmente avec le degré de gélatinisation de l'amidon. (**ZAIRI et al, 2016**) .

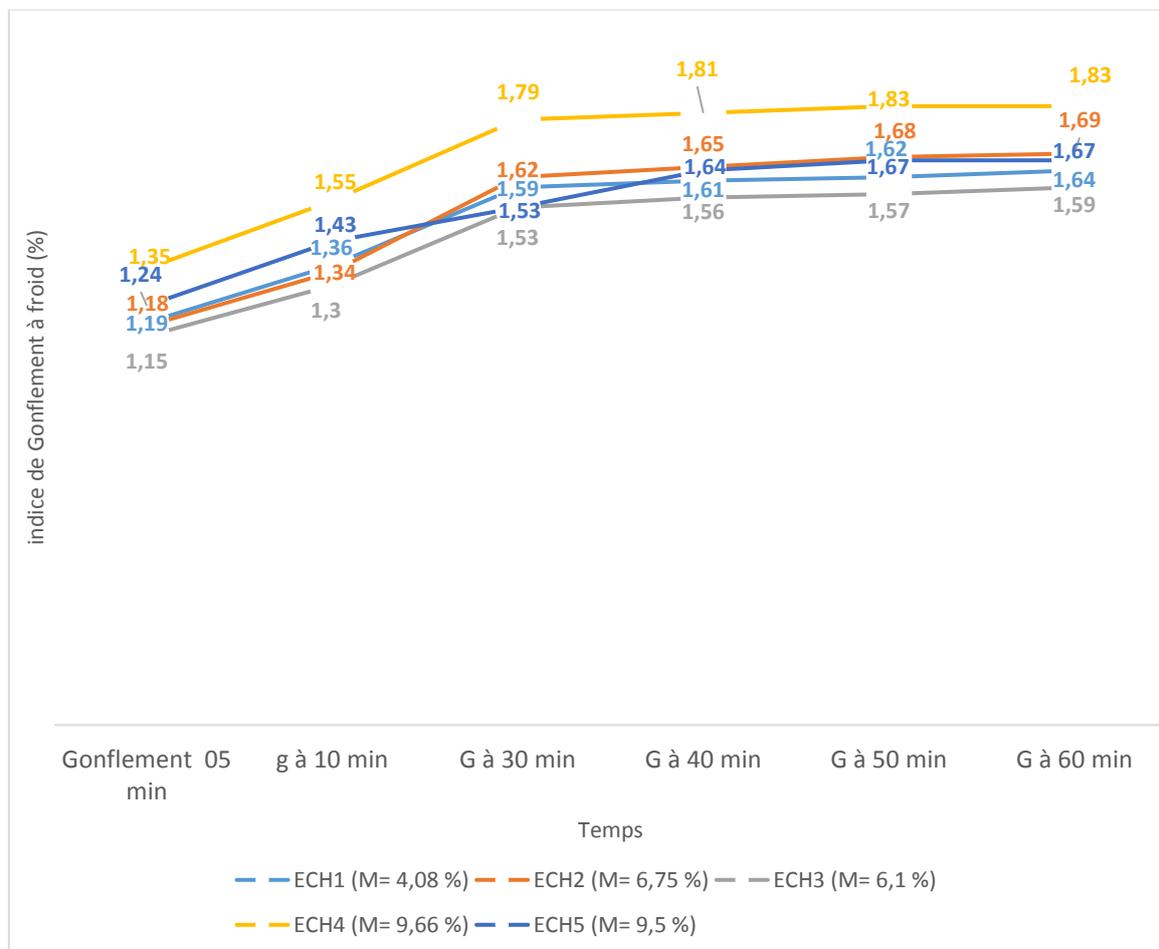


Figure 38 : Résultats de détermination de gonflement du couscous (à froid)

Gonflement à froid du couscous : selon les résultats obtenus nous constatons que les courbes de l'indice de gonflement en fonction de temps sont rapprochés. Ils présentent une accélération entre la 5eme et la 30eme minute puis une stabilité de gonflement jusqu'à la 60eme minute sauf l'échantillon numéro 05 qui se stabilise dans la 40eme minute.

Suit à l'analyse statistique basée sur le coefficient de corrélation « r » entre le taux de mitadinage et le gonflement à froid on obtient

r (mitadinage-gonflement à froid) = 0.66

Suite à la corrélation entre le mitadinage et l'indice de gonflement à froid du couscous on remarque que les particules de couscous de nos échantillons ont la capacité de s'hydrater. (Fig 39)

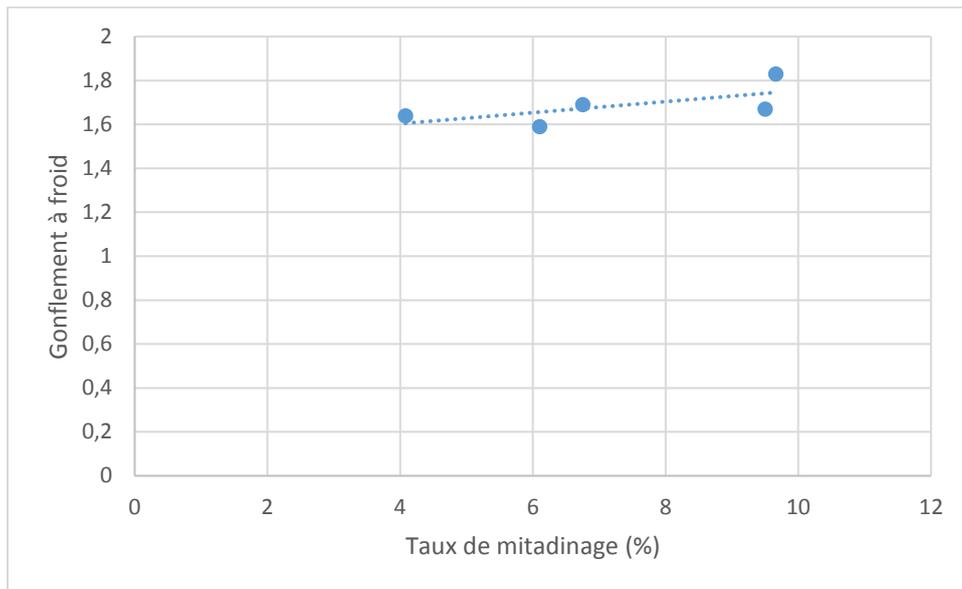


Figure 39 : Corrélation entre le mitadinage et le gonflement à froid

❖ **Gonflement à chaud :**

L'analyse des résultats montre que la capacité d'absorption d'eau par les grains de couscous, traités par l'eau distillée à 100 °C (Figure 40) diffère d'un échantillon à l'autre.

nous remarquons que la vitesse de gonflement du couscous en fonction de temps permet d'obtenir des résultats qui varient entre la valeur minimale 1.43 % pendant 60 min qui

correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) et la valeur maximale 1.75 % qui correspond à l'échantillon 02 (mitadiné à 6.75 %) autour d'une moyenne 1.54 % et un écart-type 0.10.

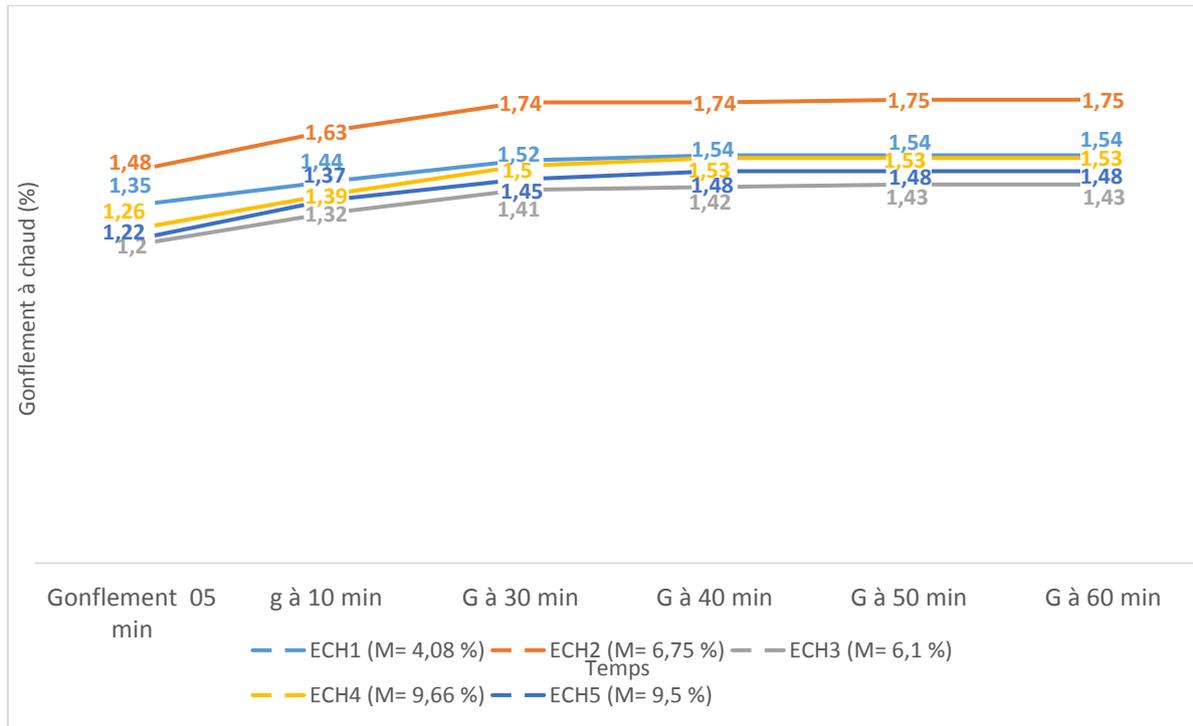


Figure 40 : Résultats de détermination de gonflement du couscous (à chaud)

Selon les résultats obtenus nous constatons que les courbes de l'indice de gonflement en fonction de temps sont rapprochés. Ils présentent une accélération entre la 5eme et la 30eme minute puis une stabilité de gonflement jusqu'à la 60eme minute.

Suite à l'analyse statistique basée sur le coefficient de corrélation « r » entre le taux de mitadinage et le gonflement à chaud on obtient

$$r (\text{mitadinage-gonflement à chaud}) = - 0.11$$

On constate une négligeable corrélation linéaire négative entre les mitadinage du blé dur et le gonflement à chaud c'est-à-dire plus le taux de mitadinage augmente l'indice de gonflement à chaud diminue. (Fig 41).

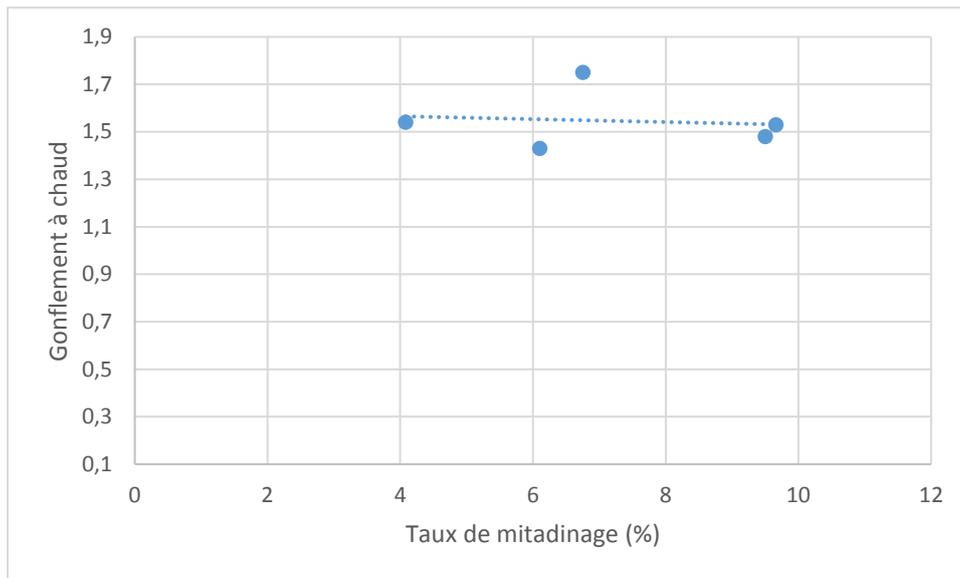


Figure 41 : Corrélation entre le mitadinage et le gonflement à chaud

Selon **MEZROUA, 2011**, le phénomène de gonflement résulte de l'absorption de différentes quantités d'eau par les éléments constitutifs des grains de couscous. Il est mesuré par les changements du volume apparent d'un échantillon de couscous une fois immergé dans l'eau à 25°C ou une eau à 100°C. Les valeurs élevées du gonflement de couscous sont indicatives d'un produit de haute qualité (**GUEZLANE et ABECASSIS, 1991 ; GUEZLANE, 1993**).

Les valeurs de gonflement du couscous peuvent être liées à la capacité d'hydratation de la semoule. La capacité de gonflement à l'eau du couscous est un test souvent pratiqué dans les usines pour contrôler la qualité des produits finis et dont il est parfois tenu compte dans les transactions commerciales (**GUEZLANE, 1993**).

Ces résultats pourraient s'expliquer par le degré de cohésion des granules de couscous formés pendant le roulage. Selon **GUEZLANE, 1993** si les agglomérats ne sont pas suffisamment cohérents ils vont avoir tendance à se déliter lorsqu'ils seront mis au contact de l'eau. Au contraire, la formation d'agglomérats trop dense va donner des produits s'hydratant mal, plus lentement. La capacité de gonflement des agglomérats dépend de leur capacité à gonfler et à piéger l'eau à l'intérieur des vides internes (**HAFSA et al, 2015**).

II.4.5 Test culinaire du couscous IPMT (méthode rapide de cuisson)

Les résultats des indices de prise en masse obtenus pour les couscous sont représentés dans la **Figure 42**. Selon ces résultats les couscous se révèlent peu collants pour les échantillon 01, 04 et 05 (respectivement mitadiné à 4.08%, 9.66 % et 9.50 %) . En revanche celui de l' échantillon 02 et 03 (respectivement mitadiné à 6.75 % et 6.1 %) sont les plus collant. Autour d'une moyenne 10.35 % et un écart-type 6.55.

Les valeurs expérimentales de cet indice sont liées au degré d'agglomération du couscous cuit. Les faibles valeurs de IPMT peuvent être indicatrices d'un produit de haute qualité. Le test de cuisson est un critère important dans l'appréciation de la qualité culinaire du couscous, son comportement permet de déterminer le degré du collant.

Une concentration élevée en protéines est la condition préalable à une cuisson du couscous de qualité supérieure (**D'EGIDIO., 1990**)

L'aspect collant du couscous est fortement corrélé à la quantité des composants solubles de l'amidon et leur degré de ramification. Ces composants doivent être le produit d'une dégradation enzymatique de l'amylopectine native lors de la fabrication du couscous. Les pertes à la cuisson pourraient avoir un effet déterminant sur le collant du couscous spécialement avec la méthode rapide de cuisson, où le couscous est mis directement au contact de l'eau bouillie comparée à la méthode traditionnelle où le couscous est cuit à la vapeur d'eau. En effet sous l'effet de la chaleur, les grains d'amidon vont gonfler, perdre leur structure semi-cristalline et libérer en partie leur contenu surtout l'amylose dans la masse du grain de couscous jusqu'à la surface qui entraîne une augmentation du collant. Ce phénomène serait peut être plus accentué par la méthode de cuisson rapide du couscous (**DAHOUN LEFKIR Samia, 2018**).

Le test de cuisson est un critère important dans l'appréciation de la qualité culinaire du couscous, son comportement permet de déterminer le degré du collant.

Une concentration élevée en protéines est la condition préalable à une cuisson du couscous de qualité supérieure (**D'EGIDIO., 1990**).

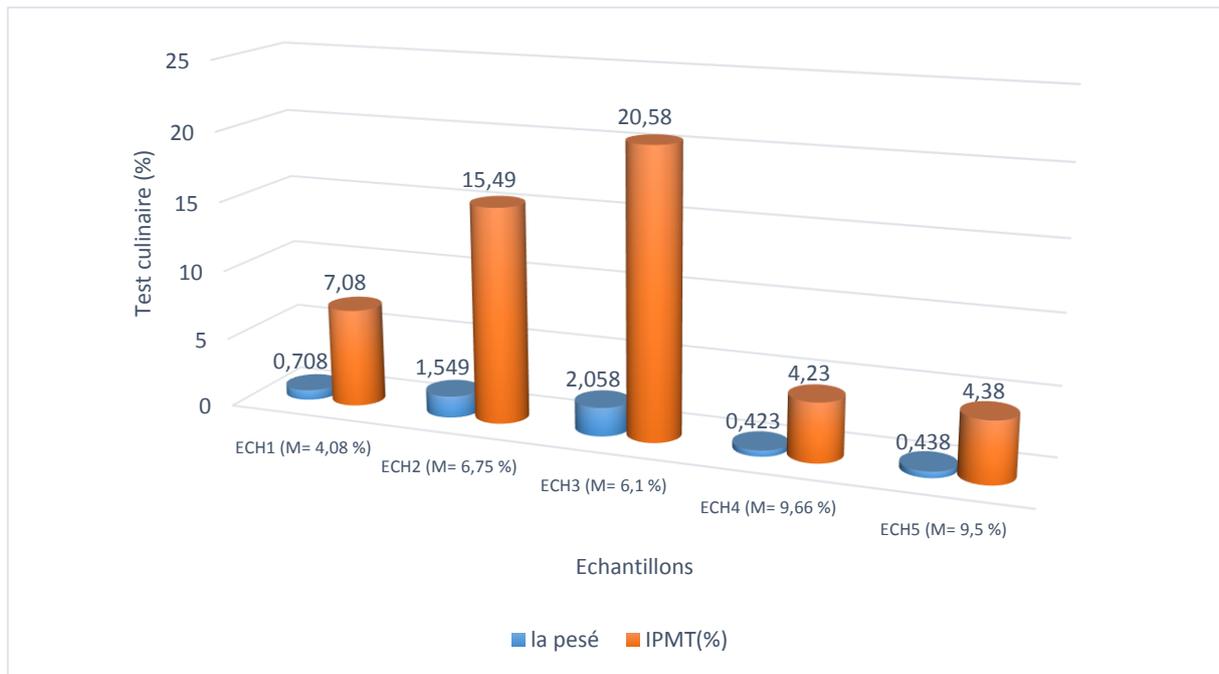


Figure 42 : Résultats de détermination de test culinaire du couscous (IPMT)

Suite à l'analyse statistique basée sur le coefficient de corrélation « r » entre le taux de mitadinage et le test culinaire on obtient

r (mitadinage-test culinaire) = -0.46

On constate une corrélation linéaire négative modérée entre les mitadinage du blé dur et cel du test de cuisson de couscous égale à - 0.46. (Fig 43)

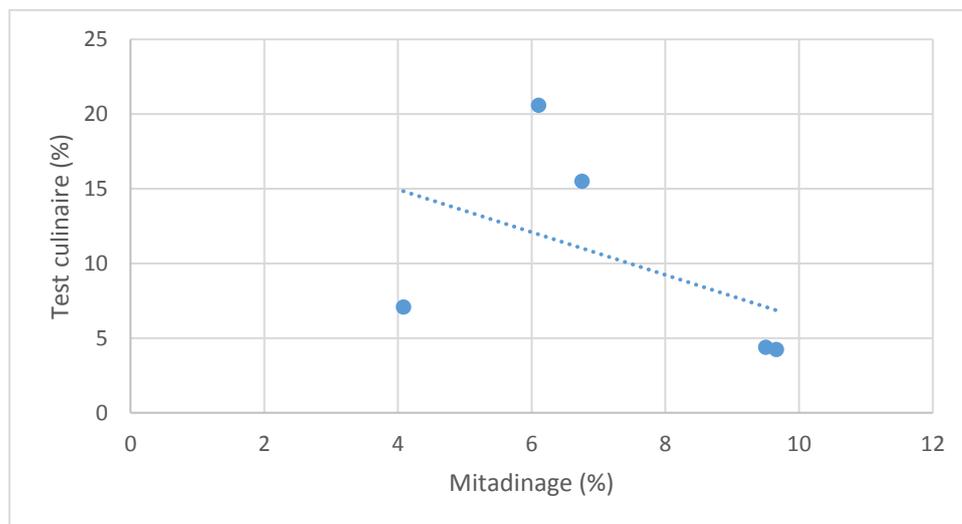


Figure 43 : Corrélation entre le mitadinage et IPMT

II.4.6 La teneur en eau

En exploitant les données illustrées dans la **Figure 44**, nous remarquons que les résultats de la teneur en eau de nos échantillons de couscous oscillent entre la valeur minimale 11,91 % qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) et la valeur maximale 13,81 % qui correspond à l'échantillon 04 (mitadiné à 9.66 %) autour d'une moyenne 12,76 % et un écart-type 0,86.

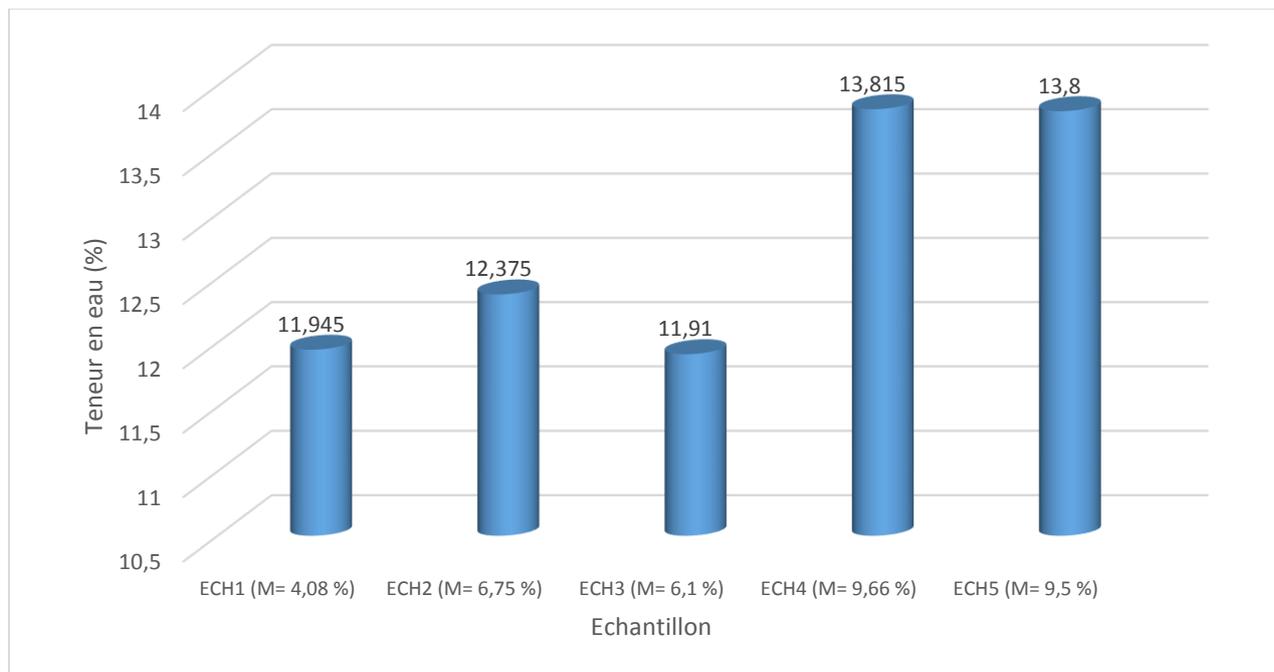


Figure 44 : Résultat de la détermination de la teneur en eau

Nous concluons que la teneur en eau pour les cinq échantillons de couscous analysés sont conformes à la norme **codex STAN 202-1995** qui exige un seuil maximum de 13.5 %.

Suit à l'analyse statistique basé sur le coefficient de corrélation « r » entre le mitadinage et la teneur en eau de couscous, on obtient :

$$r (\text{mitadinage-Teneur en eau}) = 0.94$$

Selon le résultat illustré dans la **Figure 45**, une forte corrélation existe entre le taux de mitadinage et la teneur en eau c'est-à-dire plus le blé dur soit mitadiné plus le couscous préparé aie l'aptitude d'absorber l'eau suivant les conditions technologiques de fabrication.

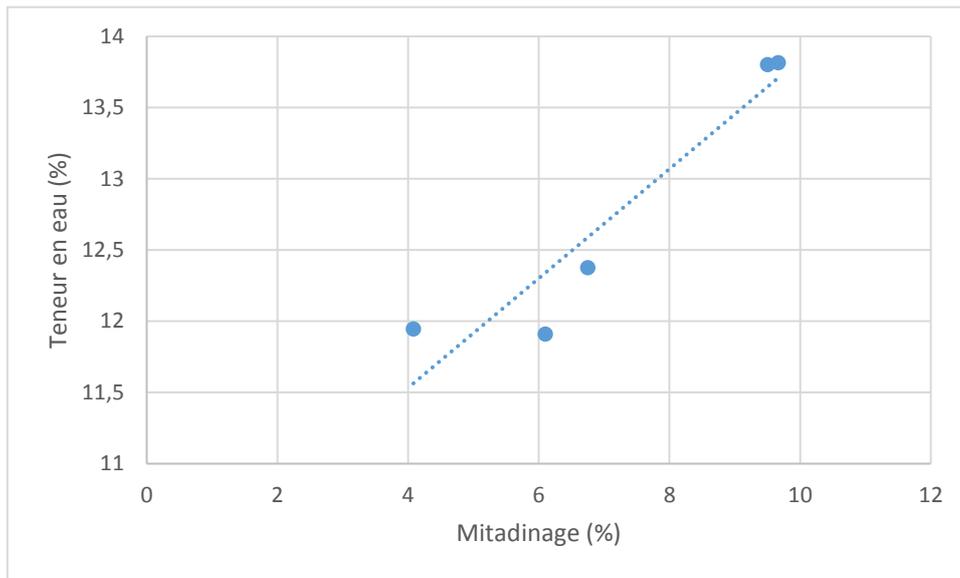


Figure 45 : Corrélation entre le mitadinage et la teneur en eau

II.4.7 Taux de cendres

A la lumière des résultats illustrés dans la **Figure 46**, nous remarquons que : les résultats varient entre la valeur minimale 0.72 % qui correspond à l'échantillon 05 (mitadiné à 9.5 %) et la valeur maximale 1.305 % qui correspond à l'échantillon 03 (mitadiné à 6.1 %) autour d'une moyenne 0.918 % et un écart-type 0.207.

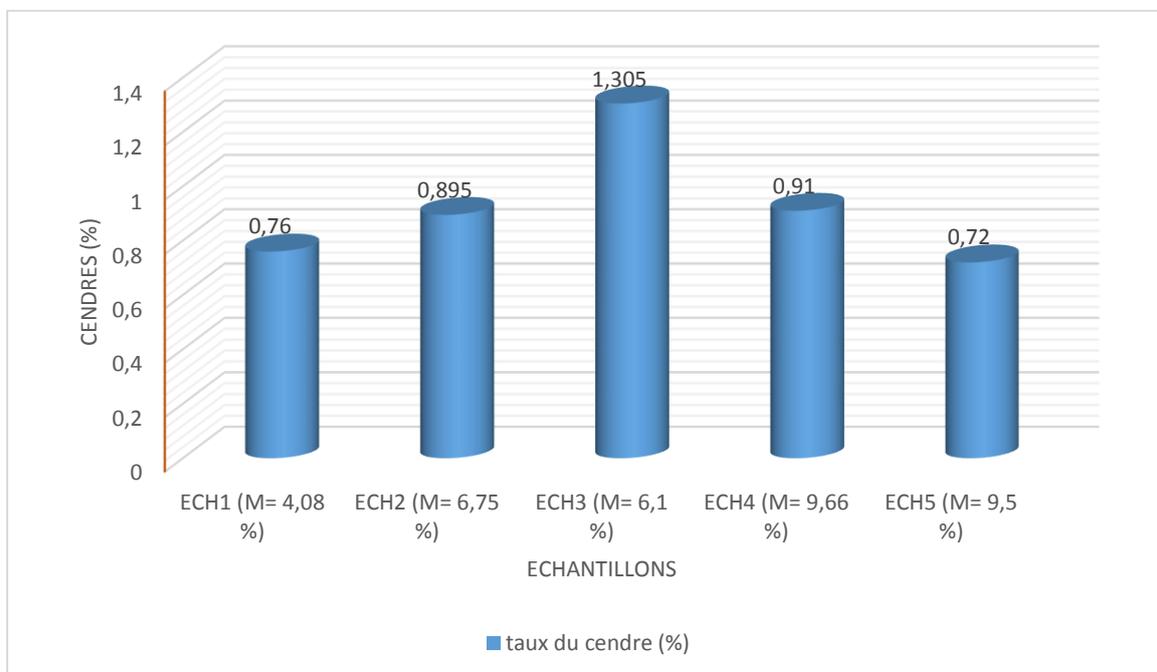


Figure 46 : Résultats de détermination du taux de cendres

Nous remarquons que le taux de cendres pour les échantillons : 01, 02, 04 et 05 de couscous analysés sont conformes aux normes **codex STAN 202-1995** qui exige un seuil maximum égale à 1.1 %. Quant à l'échantillon N° 03(mitadiné à 6.1%) est non conforme.

La mesure de la teneur en cendre a un intérêt essentiellement réglementaire.

Les cendres sont une mesure de la teneur en minéraux qui reste après l'incinération du couscous.

Selon, **ABECASSIS et al, 2021** La concentration en cendres est un déterminant essentiel de la qualité de couscous. Cette contribution à la concentration en cendres peut présenter des différences génétiques à travers des facteurs tels que la forme du grain, la profondeur du pli, etc. L'utilisation de la concentration en cendres comme mesure de la pureté de couscous est discriminatoire car il existe d'autre mesure de pureté de couscous qui seraient souhaitables, comme la mesure directe des impuretés.

Suit à l'analyse statistique basée sur le coefficient de corrélation « r » entre le taux de mitadinage et le taux de cendres on obtient.

$$r (\text{mitadinage-Taux de cendres}) = - 0.34$$

C'est-à-dire plus le blé est mitadiné, taux de cendres de la semoule tend à diminuer. (**Fig 47**).

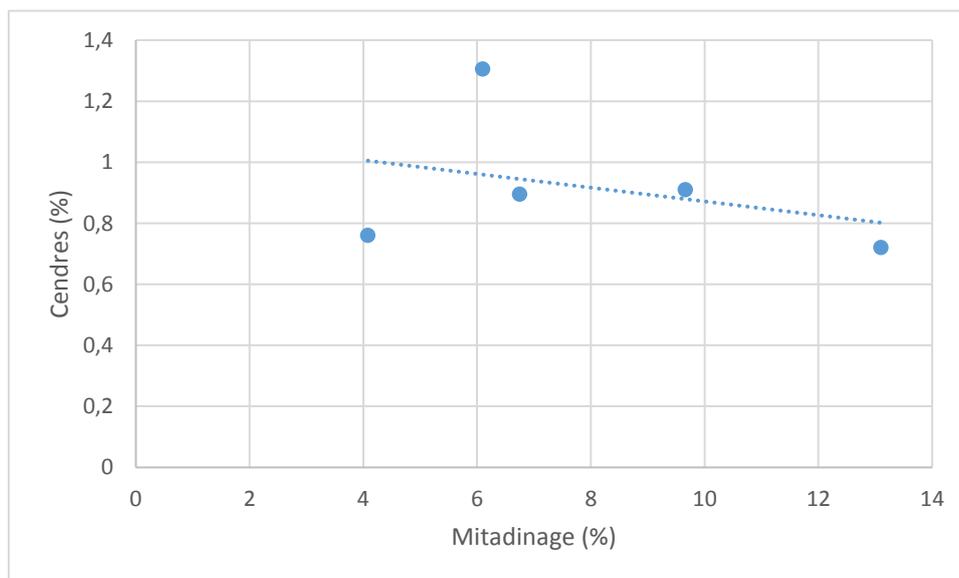


Figure 47 : Corrélation entre le mitadinage et taux de la cendre

II.4.8 Taux de protéines :

A la lumière des résultats obtenus illustrés dans la **Figure 48**, nous remarquons : les résultats varient entre la valeur minimale 12.17 % qui correspond à l'échantillon 02 (mitadiné à 6.75 %) et la valeur maximale 14.32 % qui correspond à l'échantillon 04 (mitadiné à 9.66 %) autour d'une moyenne 13.04 % et un écart-type 0.85.

La concentration en protéines des grains est un déterminant important de la qualité de la transformation des pâtes (. La protéine facilite l'hydratation de la semoule et les pâtes. **(DEXTER et MATSUO, 1977)**).

Les protéines, sont fortement affectées par les traitements. L'une des premières conséquences de ces traitements sur les protéines est la dénaturation de la structure native par modification des interactions faibles (hydrogène, hydrophobes et ioniques) et covalentes (Guezlane, 1993). Ces traitements ont pour effet de provoquer la formation d'agrégats protéiques par la formation, entre les chaînes polypeptidiques, d'interactions non covalentes hydrophobes et de liaisons covalentes **(JEANJEAN et al., 1980)**.

DEXTER et MATSUO, 1977 ; SAMSON, 2005 ; SIEBER, 2015 ont rapporté que le taux de protéines augmente avec la diminution des grains mitadinés du blé. Il a été noté que le taux de mitadinage diminue avec des protéines plus élevées de l'ordre de 9,5 et 12,5 %, alors que cette relation était moins évidente lorsque les protéines du blé dur étaient de l'ordre de 12,5 et 14,5 %.

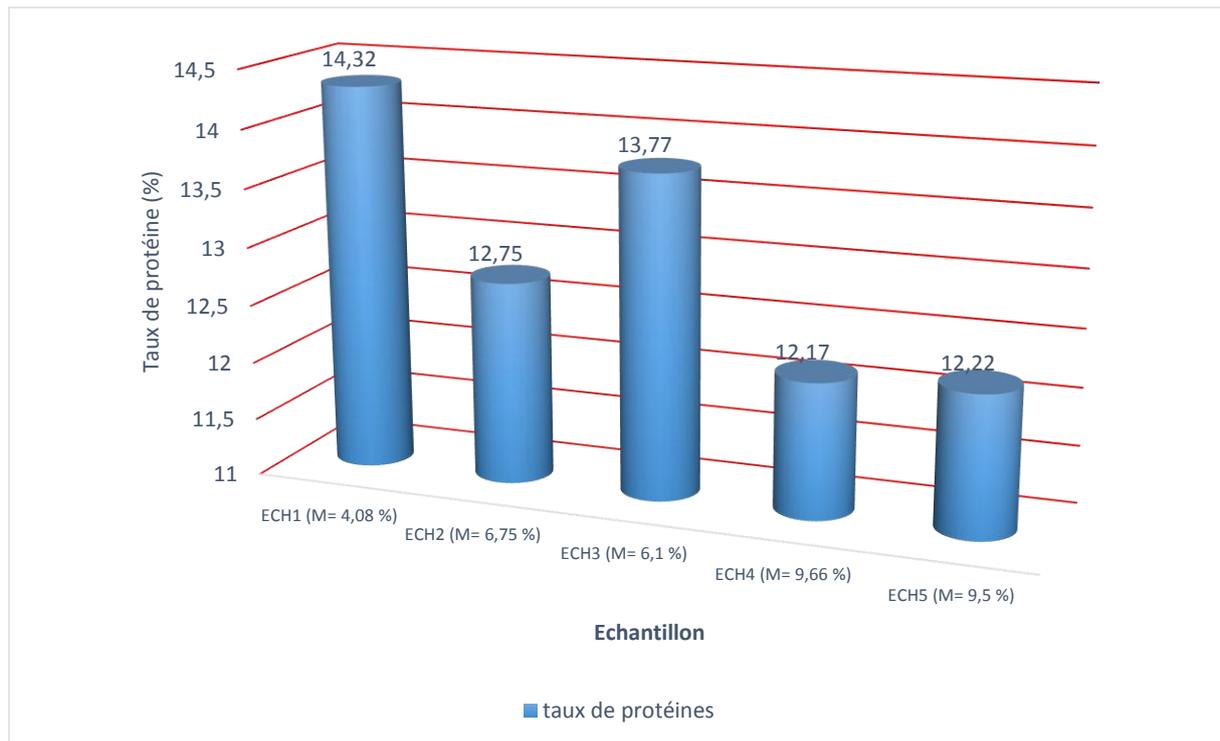


Figure 48 : Résultats de détermination de taux de protéines

Suit à l'analyse statistique basée sur le coefficient de corrélation « r » entre le taux de mitadinage et le taux de protéine on obtient :

$$r (\text{mitadinage-taux de protéine}) = - 0.95$$

On constate qu'il y a une forte corrélation négative entre le taux de mitadinage et le taux de protéine du couscous. **(Fig 49).**

La teneur en protéines et la vitrosité du grain peuvent affecter de manière significative la qualité meunière du blé dur. Les grains blancs féculents dans le blé dur à faible teneur en protéines ont un impact très néfaste sur la mouture et la transformation des pâtes. Une teneur élevée en protéines peut atténuer l'impact négatif de mitadinage sur la qualité du blé dur **(TAYLOR et al, 2017).**

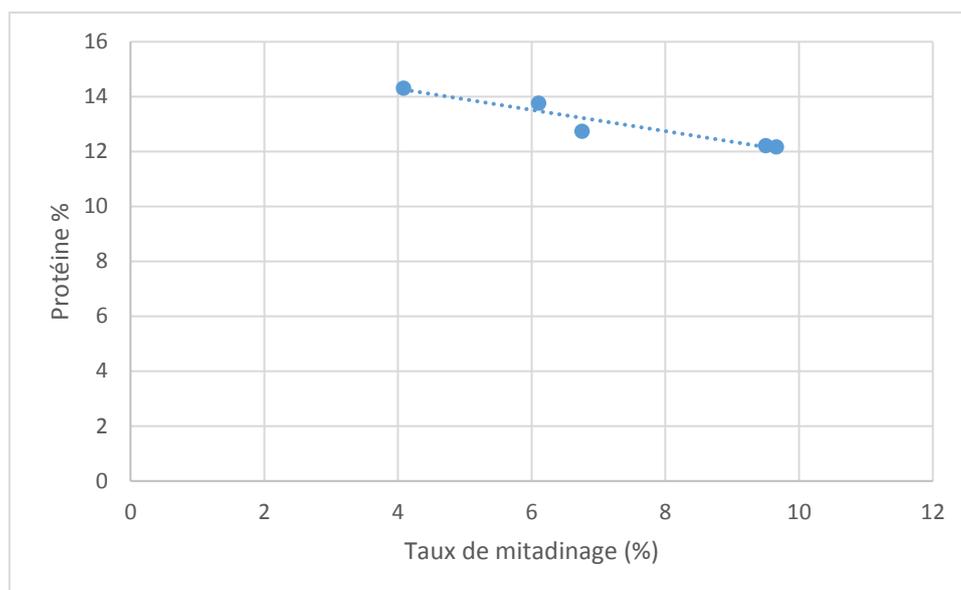


Figure 49 : Corrélation entre le mitadage et le taux de protéine

Conclusion

CONCLUSION

Conclusion

Dans ce projet de recherche, nous avons étudié les effets du mitadinage du blé dur sur des semoules produites destinées à la fabrication du couscous.

Le blé dur sujet d'enquête de qualité provenant de deux pays (Mexique et l'Italie).

Les échantillons ont été séparés en cinq classes selon le taux de mitadinage qui varient entre la valeur minimale 4.08 % correspond à l'échantillon 01 et la valeur maximale 9.66 % qui correspond à l'échantillon 04 autour d'une moyenne 7.21 % et un écart-type 2.37.

L'étude réalisée au niveau des moulins Amour, qui a porté sur deux axes :

Le premier est d'analyser les résultats technologiques et physicochimiques du blé dur, semoule et couscous. Les analyses physico-chimiques des cinq échantillons du blé dur, semoule et couscous moyen ont révélé que les produits sont de bonne qualité (sain, loyale et marchand) satisfaisants et conformes aux normes algériennes, codex et ISO.

Selon ces résultats, nous avons constaté que les taux du mitadinages étudiés n'ont pas influencé sur les qualités requises de semoule et couscous.

Le second axe est d'étudier la corrélation entre le mitadinage du blé avec les principaux paramètres contrôlés. L'analyse statistique a révélé :

- Une forte corrélation positive entre le taux de mitadinage et :
 - Le poids de milles grains : $r = 0.85$
 - L'indice de clarté du couscous I^* : $r = 0.94$
 - Teneur en eau couscous : $r = 0.94$
 - L'indice de gonflement du couscous à froid : $r = 0.66$

- Une légère corrélation positive entre le taux de mitadinage et :
 - Taux de cendres du couscous : $r = 0.45$
 - Taux de protéine du couscous : $r = 0.50$

- Une forte corrélation négative entre le taux de mitadinage et :
 - Le poids spécifique du blé dur : $r = -0.90$
 - L'indice de brune du couscous b^* : $r = -0.97$
 - L'indice de jaune du couscous a^* : $r = -0.92$
 - L'indice de sédimentation de semoule : $r = -0.69$

CONCLUSION

- Une corrélation négative modérée entre le taux de mitadinage et :
 - L'indice de gluten de semoule : $r = - 0.56$
 - Test culinaire : $r = - 0.46$
 - Taux de cendres couscous : $r = - 0.34$
- Une corrélation négligeable négative entre le taux de mitadinage et
 - La teneur en eau semoule : $r = 0.06$
 - L'indice de gonflement à chaud : $r = - 0.11$

Dans le cadre d'une perspective et un travail futur, il serait souhaitable :

- D'utiliser plusieurs variétés de blé dur locales.
- De Poursuivre d'autres essais dans d'autres unités de production.
- D'étudier l'influence des variétés de blé dur plus mitadiné (taux de mitadinage $>40\%$) sur les qualités des semoules et couscous.
- D'assister la culture du blé et surveiller la fertilisation.
- De mettre en évidence l'influence du mitadinage sur le comportement rhéologique des semoules et du couscous
- D'étudier l'influence de mitadinage sur la qualité de protéines et la teneur en pigments.
- De caractériser l'influence de mitadinage sur la valeur nutritionnelle du couscous et de semoule.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- 01-**ABECASSIS Joëlle, MASSE Jack, ALLAOUA Abdelkamel : blé dur synthèse des connaissances pour une filière durable page 320, 2021.
- 02-**ABIDI Lila, Mémoire magister étude de l'interaction génotype-environnement sur les paramètres agronomiques et technologiques de quelques variétés de blé dur (*triticum durum* desf.), 2009.
- 03-**ANGAR O. et BELHOUCHE L : Granulométrie du couscous : relation avec quelques paramètres de fabrication et la qualité culinaire. Mémoire d'ingénieur. DNATAA, page 53, 2002.
- 04-**Anonyme 01 : la politique céréalière en Algérie ENSSEA KHERCH MEDJDEN Hanya et BOUCHAFAA Bahia, 2010.
- 05-**Anonyme 02 : Statistique du ministère de l'agriculture et de développement rural 2017 (madr.gov.dz).
- 06-**Anonyme 03 : www.ens-lyon.fr
- 07-**Anonyme 04 : Station expérimentale de l'institut technique des grandes cultures d'Oued Smar (ITGC).
- 08-**Anonyme 05 : Le mitadinage : Correction des expériences ITGC oued smar, 1969.
- 09-**Anonyme 06 : codex stan 199-1995.
- 10-**Anonyme 07 : www.lhistoire.fr.
- 11-**AOUAOUA Wassila et GUEMDANI Manel : Etude de la qualité technologique du couscous industriel page 55, 2012.

B

- 12-**BENBELKACEM, A., KELLOU, K. Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie. Options méditerranéennes, 105 Pages. 2001.
- 13-**BENLACHEHAB. R : Scores lipidiques de certains plats traditionnels consommés à Constantine, Thèse de Magister, INATAA. Université de Constantine, 175 pages, 2008.
- 14-**BERKE Jean Pierre : Contribution à l'étude du mitadinage, 2ème partie : Mitadinage et rendement AL AWMIA, revue de la recherche agronomique Marocaine, pages 35-67, Janv. 1966.
- 15-**BOUDREAU Armand et MENARD Germain : Le Blé : éléments fondamentaux et transformation 435 pages, 1992.

D

- 16-**DAHOUN LEFKIR Samia : En vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT en Sciences Agronomiques : Etude et optimisation des conditions d'hydratation des semoules de blé dur sur l'expression de la qualité technologique du couscous. Modifications biochimiques des protéines, 2017-2018.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 17-**D'EGIDIO M.G, MARIANI. B, M., NARDI. P, NOVARO. P, and CUBADDA. R:
Chemical and technological variables and their relationships: A predictive equation for
pasta cooking quality. *Cereal Chem.* Page 275-281, 1990.
- 18-**DEXTER James et MATSUO Robert : Influence of proteins contents on some durum
wheat quality parameter .*journal of plant science* page 57, 1977.
- 19-**DI FONZO. N, KAAH. F, NACHIT. M. Durum wheat quality in the Mediterranean
region pages 53-59, 1995.
- 20-**DICK J.W, MATSUO. R.R: Durum wheat and pasta products. In: *Chemistry and
Technology*, Vol.II, 3rd edition, pages: 507-547. *Cereal Chem*, 1988.

F

- 21-**FEILLET Pierre : *Le grain de blé : composition et utilisation.* 308 pages, 2000.
- 22-**FELDMAN. M, et SEARS: The wild gene resources of wheat. *Sci Amer* 2441: page
102–112, 1981.
- 23-**FRANCONIE Hélène, CHASTANET Monique et SIGAUT François : *Couscous,
boulgour et polenta. Transformer et consommer les céréales dans le monde*, 2010.

G

- 24-**GODON Bernard et WILLM Claud : les industries de 1^{ère} transformation des céréales
photo titre structure, 679 pages, 1991.
- 25-**GODON Bernard, LOISEL William : *Guide pratique d'analyse dans les industries des
céréales.* 819 pages, 1997.
- 26-**GRIGNAC Pierre : *Contribution d l'étude de *Triticum durum* (Desf.)* Thèse, Fac. Sci.
Toulouse, 152 pages, 1964.
- 27-**GUEZLANE Louardi : *Mise au point de méthodes de caractérisation et études des
modifications physico-chimiques sous l'effet de traitements hydro-thermiques en vue
d'optimiser la qualité du couscous du blé dur.* Thèse de Doctorat d'état, INA, El-
Harrach, 1993.
- 28-**GUEZLANE Louardi, ABECASSIS, J : *Méthodes d'appréciation de la qualité culinaire
du couscous de blé dur.* *Industries alimentaires et agricoles*, page 108, 1991.
- 29-**GUEZLANE, Louardi : *Qualité du couscous de blé dur* publication, 1993.

H

- 30-**HAFSA. I, MANDATO. S, RUIZ. T, SCHUCK. P, JEANTET. R, MEJEAN. S,
CHEVALLIER. S, and CUQ. B: Impact of the agglomeration process on structure and
functional properties of the agglomerates based on the durum wheat semolina. *Journal
of Food Engineering*, 145 pages, 2015.
- 31-**HAMADACHE Abdelmadjid : *Grandes cultures. Principaux itinéraires techniques des
principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du
nord, tome 1 : le blé*, 2013.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

I

- 32-**ITCF : Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux Guide pratique, ITCF céréaliers de France, Paris, 268 pages, 2001.

J

- 33-**JEANJEAN, M., DAMIDAUX, R., FEILLET, P: Effect of Heat Treatment on Protein Solubility and Viscoelastic Properties of Wheat Gluten. Cereal Chem 57, 325-333, 1980.

K

- 34-**KHAN Khalil: wheat chemistry and technology, 1996.

M

- 35-**MASCI Stéphanie, D'OVIDIO Renato. LAFIANDRA Dominico, A: 1B coded low-molecular-weight glutenin subunit associated with quality in durum wheat show strong similarity to subunit present in some bread wheat cultivars, 1999.
- 36-**MEZROUA Lyamine, CHEMACHE Loucif, NAMOUNE Hacène : effet de la granulométrie du couscous sur sa qualité culinaire ; Le 1er Congrès International. L'aide à l'Agriculture Algérienne. Annaba pages 22- 24 novembre, 2011.
- 37-**SISSONS Mike: Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. 87 pages, 2008.

P

- 38-**PERTEN Henry: Rapid measurement of wet gluten quality by the gluten index Chemistry Cereal Foods World, 1990.
- 39-** PETITOT Maud, ABECASSIS Joële, MICARDA Valérie: Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity- Trends in Food Science & Technology Volume 20, pages 521-532, 2009.

R

- 40-**ROYO Conxita, ARAUS José Luis, SLAFER Gustavo A., M. Dolores Serret: Breeding for Yield Potential and Stress Adaptation in Cereals - Plant Sciences, pages 377-412, 2009.
- 41-**RUEL.T : Document sur la culture du blé, 18 pages. 2006.
- 42-**RUIZ. T, BELLOCQ. B, DELAPLACE. G, DURI. A, et CUQ. B: Screening efficiency and rolling effects of a rotating screen drum used to process wet soft agglomerates, 2014.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

S

- 43-SAKAMURA** : Brèves informations sur les relations entre les espèces de triticum. Le magazine de Tokyo, pages 32, 1918.
- 44-SAMAAN** Jihad ,GHASSAN. H, EI-KHAYAT, FRANK. A, MANTHEY MICK. P, FULLER CHARLES. S: Brennan Durum wheat quality: II. The relationship of kernel physicochemical composition to semolina quality and end product utilization, 87 pages, 2006.
- 45-SAMSON**. M.-F, MABILLE. R, CHÉRET. J, ABÉCASSIS. MOREL. M-H: Mechanical and Physicochemical Characterization of Vitreous and Mealy Durum Wheat Endosperm, 2005.
- 46-SIEBER**. N, WÜRSCHUM. TOBIAS. C. FRIEDRICH H : Vitreosity, its stability and relationship to protein content in durum wheat: State Plant Breeding Institute, University of Hohenheim, 70599 Stuttgart, Germany, 2015.
- 47-SOLTNER** : les grandes productions végétales. 20 ème édition, page 25 + 33 (grand tableau), 1987.

T

- 48-TAYLOR** Dale, BIN Xiao Fu, KUN Wang, DUPUIS Brigitte, SHINNAM: Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality- journal of science, 2017.
- 49-TRENTESAUX**. E : Evaluation de La Qualité Du Blé Dur in DI FONZO N, KAAN. F. NACHIT. M: Durum wheat quality in the Mediterranean region, pages 53-59, 1995.

W

- 50-WADLEY** et MARTIN: The origins of agriculture: a biological perspective and a new hypothesis page 96-105, 1993.

Y

- 51-YOUSFI**. L : Influence des conditions de fabrication sur la qualité du couscous industriel et artisanal. Thèse de Magister. DNATAA. Université de Constantine. 141 pages, 2002.
- 52-YVES**. H et BUYSER. J : De la graine à la plante, l'origine des blés BELIN pour la science, pages 69-72, 2001.

Z

- 53-ZAIRI**. M BOUCHENTOUF S HADJAM N BENALI M HAMOU M et LABDI M, Revue Agriculture. Numéro spécial 1 (2016) 162 – 173

ANNEXES

Annexe A :

1- Historique de l'entreprise :

Dès 1985, feu Hadj Amour Noureddine créa sa première société familiale baptisée "**FROMARYM**", spécialisée dans la fabrication de fromage et produits laitiers. L'histoire du groupe débute en 1990, lorsque feu **HADJ AMOUR Noureddine** décide de fonder le groupe qui porte son nom, puis Il lança sa première conserverie de fruits et légumes. Depuis, l'entreprise familiale ne cesse de se développer et constitue aujourd'hui trois unités différentes, à savoir :

- La Conserverie du Maghreb Amour spécialisée dans la conservation de fruits et légumes.
- La Semoulerie Amour Mouzaia spécialisée dans la transformation meunière.
- Medibox Spécialisée dans la fabrication d'emballage métallique.

2- Présentation de l'entreprise :

Implanté à Mouzaia, la ville natale du fondateur, le groupe capitalise une compétence avérée dans le domaine de l'agro-alimentaire. Il emploie plus de 300 travailleurs permanents et plus de 200 travailleurs saisonniers, toutes catégories confondues en haute saison. La totalité de sa production est commercialisée au niveau national et demeure en phase de croissance, compte tenu de la demande qui ne cesse de s'accroître. Fort d'une histoire riche, de valeurs fortes et d'un savoir-faire unique, le Groupe Amour appuie sa stratégie sur la pérennité et l'engagement pour des produits de qualité supérieure.

La première unité réalisée est spécialisée dans la production de la semoule d'une capacité de 200 Tonnes/ 24h.

La seconde unité réalisée est spécialisée dans la production de la farine d'une capacité de 200 Tonnes/ 24h.

En 2011 une autre unité a été réalisée. Cette dernière est spécialisée dans la production de couscous avec une capacité de transformation de 1800Kg/h.

Annexe B :

01- Résultats d'analyses de blé dur

Tableau 01 : Résultats de détermination du taux d'impuretés (Agréage du blé)

Les échantillons	Ech 01	Ech 02	Ech 03	Ech 04	Ech 05
	(Italien)			Mexicain	
Grains mouchetés (g)	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7
	1.86	1.75	0.92	0.82	0.54
	Moy : 1.33	Moy : 1.22	Moy : 0.86	Moy :0.76	Moy : 0.62
Grains échaudés (g)	1,2	0,9	1,0	0,2	0,3
	3.01	1.45	2.05	2.32	0
	Moy : 2.10	Moy : 1.17	Moy : 1.52	Moy :1.26	Moy : 0.03
Grains cassés (g)	2,7	3,3	3,2	1,9	2
	0	2.89	4	0	0
	Moy : 2.7	Moy : 3.09	Moy : 3.6	Moy :1.9	Moy : 2
Grains mitadinés (g)	3,5	3,7	3,5	4,3	4,2
	1.16	4.81	4.40	4.85	2.17
	Moy : 2.33	Moy : 4.25	Moy : 3.95	Moy :4.57	Moy : 3.18
Grains étrangers (g)	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
Blé tendre (g)	0,9	1,2	1,1	0,8	0,7
Orge (g)	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2
	0.66	0.08	0.11	0.32	0.14
	Moy : 0.53	Moy : 0.19	Moy : 0.25	Moy :0.26	Moy : 0.17

Tableau 02 : Résultat de détermination de la teneur en (Humidité du blé)

Les échantillons	Ech 01	Ech 02	Ech 03	Ech 04	Ech 05
M0	25.568	25.905	25.876	25.847	25.931
M1	30.569	30.912	30.883	30.869	30.930
M2	30.001	30.385	30.364	30.323	30.270
H %	11.35	10.52	10.36	10.87	13.20
H % (Appareil)	13.5	11.9	11.2	12.3	13.00
Moyenne	12.4	11.2	10.7	11.5	13.10

Tableau 03 : Résultat de détermination du Taux de mitadinage

Les échantillons	Mitadinage						
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5	Essai 6	Pourcentage
1	3.5	3	0.25	1.5	2.75	1.25	4.08%
2	0.5	3	5	1.75	3	7	6.75%
3	3	3.5	2.75	2.5	2.25	4.5	6.1%
4	3.75	5.75	5.5	5.75	4.75	3.5	9.66%
5	7.25	5	0.5	5	5.5	5.25	9.5%

Tableau 04 : Résultat de détermination du Poids de 1000 grains

Les échantillons	1000 grains
Ech 01	4.30 x 10 = 43 g
Ech 02	5.05x 10 = 50.5 g
Ech 03	5.11 x 10 = 51.1 g
Ech 04	4.84 x 10 = 48.4 g
Ech 05	6.10x 10 = 61 g

Tableau 05 : Résultat de détermination du Poids spécifique

Les échantillons	E1	E2	E3	M
Ech 01	206.42 83.10	205.69 82.90	206.71 83.30	83.1
Ech 02	204.79 82.50	202.21 81.30	202.92 81.70	81.83
Ech 03	208.90 84.10	204.32 82.3	206.42 83.10	83.16
Ech 04	200 80.50	199.23 80.30	198.62 80.10	80.3
Ech 05	194.2 78.05	196.76 79.30	196.79 79.30	78.88

02- Les analyses de la semoule**Tableau 06 : Résultat de détermination de la teneur en eau**

Les échantillons		Ech 1	Ech 2	Ech 3	Ech 4	Ech 5
E 1	M0	26.026	25.649	26.083	25.930	25.878
	M1	31.026	30.650	31.085	30.932	30.879
	M2	30.328	29.947	30.404	30.223	30.162
	Moy	13.96	14.05	13.61	14.17	14.33
E2	M0	29.1413	29.6230	28.9555	28.8535	28.1971
	M1	34.1413	34.6420	33.9555	33.8535	33.1971
	M2	33.5741	34.0720	33.3956	33.2854	32.6282
	Moy	11.34	11.35	11.19	11.36	11.38

Tableau 07 : Résultats de détermination du taux de Cendres

Les échantillons		Ech 1	Ech 2	Ech 3	Ech 4	Ech 5
E1	M0	36.95348	39.44070	37.37763	39.44675	38.24048
	M1	41.95351	44.44160	42.37517	44.43315	43.24525
	M2	37.00103	39.49083	37.42272	39.49531	38.28452
	Moy	1.01	1.16	1.04	1.13	1.02
E2	M0	4.980	5.030	5.049	4.957	5.061
	M1	21.071	21.678	19.741	20.590	22.916
	M2	21.120	21.730	19.788	20.646	22.968
	Moy	0.98	1.03	0.93	1.13	0.97

Tableau 08 : Résultat de détermination de la Granulation

Les échantillons	Granulation		
	$\varnothing = 710\mu$	$\varnothing = 355\mu$	$\varnothing < 350\mu$
1	9	86	5
2	10	89	1
3	10	88	1
4	4	95	1
5	4	95	1

Tableau 09 : Résultats de détermination de l'indice de Sédimentation

Les échantillons	Sédimentation		
1	54	49	54
2	53	47	52
3	47	49	48
4	51	56	49
5	44	49	43

Tableau 10 : Résultats de détermination de la teneur en eau

Echantillons		Humidité (%)			
1	E1	29.1413	34.1413	33.5741	11.34
	E2	27.6156	32.6156	32.0506	11.3
2	E1	28.1168	33.1168	32.5168	11.35
	E2	29.6230	34.6420	34.0720	12.00
3	E1	28.9555	33.9555	33.3956	11.19
	E2	28.8478	33.8478	33.2875	11.21
4	E1	28.8535	33.8535	33.2854	11.36
	E2	29.3002	34.3002	33.7344	11.32
5	E1	28.1971	33.1971	32.6282	11.38
	E2	29.0923	34.0923	33.5254	11.34

Tableau 11 : Résultats de détermination de l'Indice de gluten

Echantillons		G. rest	G. passe	G. humide(M1)	G. sec (M2)	Moy		
						G.H	G. S	I%
1	E1	1.885	1.833	3.710	1.260	41.85	14.21	66.05
	E2	1.971	1.443	3.408	1.195	38.42	13.47	64.94
2	E1	1.981	1.661	3.642	1.327	41.08	14.96	63.58
	E2	1.882	1.763	3.645	1.290	41.42	14.66	64.60
3	E1	2.355	0.835	3.183	1.191	35.84	13.41	62.58
	E2	2.077	0.911	2.983	1.059	33.60	11.93	64.49
4	E1	2.556	1.106	3.656	1.276	41.25	14.40	65.09
	E2	2.503	0.928	3.424	1.285	38.61	14.49	62.47
5	E1	2.160	0.953	3.108	1.086	35.07	12.26	65.07
	E2	2.401	0.419	2.818	1.028	31.78	11.59	63.53

03- Les analyses couscous

Tableau 12 : Résultats d'analyse de la teneur en eau

Les échantillons		Ech 1	Ech 2	Ech 3	Ech 4	Ech 5
E1	M0	26.086	26.078	25.910	25.876	26.099
	M1	31.086	31.079	30.910	30.876	31.099
	M2	30.490	30.456	30.231	30.225	30.430
	Résultat	11.92	12.45	13.85	13.02	13.38
E2	M0	25.855	26.025	25.987	25.979	26.090
	M1	30.859	31.032	30.990	30.988	30.45
	M2	30.260	30.416	30.491	30.256	31.070
	Résultat	11.97	12.30	9.97	14.61	14.22

Tableau 13 : Résultats d'analyses du taux de cendres

Les échantillons		Ech1	Ech 2	Ech 3	Ech 4	Ech 5
E 1	M0	4.936	4.923	4.999	4.976	4.967
	M1	22.933	20.593	19.741	21.073	97.307
	M2	22.960	20.635	19.801	21.114	97.329
	Moy	0.55	0.85	1.20	0.82	0.44
E 2	M0	35.67278	38.23515	37.37607	41.84210	41.20297
	M1	40.67482	43.23518	42.37797	46.84393	46.20300
	M2	35.71578	38.27631	37.43713	41.88587	41.24658
	Moy	0.97	0.94	1.41	1.00	1.00

Tableau 14 : Résultats d'analyse de la Colorimétrie

Echantillons	L	A	B
1	49,64	0,74	22,73
2	50,06	0,47	22,21
3	52,17	-0,41	21,15
4	53,31	-0,27	18,34
5	53,31	-0,79	18,82

Tableau 15 : Résultats de détermination de la Granulométrie

Les échantillons	Granulation							
1	5	28	18	16	17	6	8	2
2	4	13	19	18	23	9	10	4
3	22	44	9	6	9	3	5	2
4	6	40	19	15	12	5	3	0
5	17	35	8	7	12	4	10	3

Tableau 16 : Résultats d'analyse des Protéines

Les échantillons	Protéine
1	12.22
2	12.17
3	13.77
4	14.32
5	12.75

Tableau 17 : résultats d'analyse du Gonflement à froid

Echantillon	V1		Moyenne (V1)	Temps (min)	Essai 1	Essai 2	La moyenne (V2)	TG
	E1	E2						
1	50	38	44	5	54	51	52.5	1.19
				10	61	59	60	1.36
				30	70	70	70	1.59
				40	70	72	71	1.61
				50	71	72	71.5	1.62
				60	72	73	72.5	1.64
2	50	38	44	5	53	51	52	1.18
				10	59	59	59	1.34
				30	73	70	71.5	1.62
				40	75	71	73	1.65
				50	76	72	74	1.68
				60	77	72	74.5	1.69
3	49	39	44	5	51	51	51	1.15
				10	57	58	57.5	1.30
				30	67	68	67.5	1.53
				40	69	69	69	1.56
				50	70	69	69.5	1.57
				60	70	70	70	1.59
4	39	40	39.5	5	54	53	53.5	1.35
				10	62	61	61.5	1.55
				30	72	70	71	1.79
				40	73	70	71.5	1.81

				50	74	71	72.5	1.83
				60	74	71	72.5	1.83
5	42	40	41	5	53	49	51	1.24
				10	58	55	56.5	1.43
				30	67	59	63	1.53
				40	69	66	67.5	1.64
				50	70	67	68.5	1.67
				60	70	67	68.5	1.67

Tableau 18 : Résultats d'analyse du Gonflement à chaud

Echantillon	V1	Moy	Temps (min)	Essai 1	Essai 2	La moyenne	IG
1	47 47	47	5	62	65	63.5	1.35
			10	65	71	68	1.44
			30	69	74	71.5	1.52
			40	70	75	72.5	1.54
			50	70	75	72.5	1.54
			60	70	75	72.5	1.54
2	44 43	43.5	5	65	64	64.5	1.48
			10	70	72	71	1.63
			30	75	77	76	1.74
			40	75	77	76	1.74
			50	76	77	76.5	1.75
			60	76	77	76.5	1.75
3	45 57	51	5	57	66	61.5	1.20

			10	63	72	67.5	1.32
			30	69	75	72	1.41
			40	69	76	72.5	1.42
			50	70	76	73	1.43
			60	70	76	73	1.43
4	54 55	54.5	5	71	67	69	1.26
			10	77	75	76	1.39
			30	84	80	82	1.50
			40	85	82	83.5	1.53
			50	85	82	83.5	1.53
			60	85	82	83.5	1.53
5	46 51	48.5	5	59	60	59.5	1.22
			10	64	69	66.5	1.37
			30	68	73	70.5	1.45
			40	69	75	72	1.48
			50	69	75	72	1.48
			60	69	75	72	1.48

Tableau 19 : Résultats d'analyse du Refus

Les échantillons	La pesé	Les refus
01	0.708	7.08
02	1.549	15.49
03	2.058	20.58
04	0.423	4.23
05	0.438	4.38

04- Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau du process

Tableau 20 : Résultats d'analyse de l'eau pour le nettoyage du Blé dur

Les dates	TH	Chlore libre
26/02	27	00
1/03	28	00
12/03	25	00
15/03	23	00
1/04	30	00

Tableau 21 : résultats d'analyse de l'eau pour préparation de Couscous

Les dates	TH	Chlore libre
01/03	15	00
04/03	18	00
15/03	19	00
18/03	18	00
05/04	15	00

Annexe C :



**Détermination du taux d'impuretés
(agréage)**



Farinotome



Détermination du taux de mitadinage



Hygromètre draminski



Etuve



Dessicateur



Niléma litre



Granulomètre



Incinérateur



Cendres de semoule



Eprouvette pour le test de gonflement



Glutomatic (élimination de l'amidon)



Essorage de gluten humide



Presse de gluten



Granulomètre



Détermination du gonflement à froid



Détermination du gonflement à chaud



Rotachoc



Chroma-mètre (colorimétrie)



Etuve pour la détermination de la teneur en eau