

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA -1-



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA
VIE DEPARTEMENT AGRO-ALIMENTAIRE

Mémoire

**De fin d'étude en vue d'obtention du diplôme de
Master Spécialité : Agro-alimentaire et contrôle de
qualité Filière : Sciences alimentaires**

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

**Etude de l'effet du travail du sol et du semis direct sur la qualité
technologique du blé dur *triticum durum* L :
Aptitude à la panification**

Réalisé par :

M^{elle} Zakia EL AICHI et Ahlem ZERNADJI

Devant le jury :

Présidente	Dr. RABZANI	MCB (USDB)
Examinatrice	Dr. S. BENLEMANE	MCB (USDB)
Promotrice	Dr. Z. ABDELLAOUI	MCB (USDB)

Année universitaire 2019-2020

Remerciements

Je remercie avant tout, Dieu qui m'a donné la volonté et l'énergie de réaliser ce travail. Je tiens à remercier toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

*J'exprime mes sincères remerciements à **Mme. Abdellaoui Zakia**, ma directrice de thèse, qui a suivi ce travail avec beaucoup d'intérêt. Qu'elle trouve ici l'expression de ma reconnaissance et mon profond respect pour ses précieux conseils, son aide et sa disponibilité.*

*Je remercie également **Mme Hadjadj. N**, de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury. Un grand remerciement à **Mme. Benlemane.S**, d'avoir accepté d'examiner notre travail, qu'elle trouve ici l'expression de ma reconnaissance la plus sincère.*

*Nous tenons à exprimer notre respectueuse gratitude à monsieur **Torchit.N** maître-assistant à l'université mohammed boudiaf de m'sila.*

*on voudrait exprimer notre reconnaissance envers **Mme EL AICHI.M** qui nous apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche.*

*Mes remerciements les plus profonds aussi : **A, Mme Madani, Laarem** et **Salim** du laboratoire de technologies des céréales de l'ITGC, de nous avoir aidé à la réalisation des analyses.*

Dédicaces

A mes chères parents « ABDELKRIM et SAFIA »

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit, toute votre affection me couvre votre bienveillance me guide et votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A ma source de tendresse et d'encouragement mes sœurs : kenza, souhila, mounira et selma

A mon frère Abderrahmane et son épouse houria

Aux anges : fou, nouna, siba, mimi, aya, midi, rayounettes « rayouna zina et ayene » et douidi

Aux doyens walid et ninou

A vous mes chères amies : ma jumelle amina ,nassima, hadjer, , fatma zahra.

A mon binôme ahlem.

Zakia ELAICHI

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

Ma mère, Zahíya qui a œuvré pour ma réussite, de part son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui n'est pas de ce monde mais qui reste toujours dans mon cœur.

*A mes chères sœurs zahira nawel et amel , et mes frères mohamed riyad et feteħ pour leurs encouragements permanents, et leurs soutien moral.
A toute ma famille.*

A mes amies :Somia Amína Houđa Zineb ,qui n'a cessé d'être pour moi un exemple de persévérance, de courage et de générosité. A ma nièce : Lila.

A mon binôme Zakia. A tous les amis d'études promotion contrôle de qualité A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Zernadjí Ahlem

Résumé

Le blé dur de bonne qualité est recommandé dans toutes les technologies de transformation du blé notamment la panification, plusieurs facteurs sont réunis dans la détermination de la qualité. L'objectif de notre étude vise à étudier l'effet du mode de travail du sol sur la variation de qualité du blé dur.

Deux modes de travail du sol ont été étudiés, le travail conventionnel et le semis direct sur la variété Bousselam cultivée en Algérie. Les résultats ont montré un important effet sur la qualité de cette variété. Le taux de mitadinage est nettement plus élevé pour le blé issu de semis direct **14,33** face à **1%** obtenu avec le travail conventionnel sol. Cependant, le poids de mille grains est de **43.5** g pour le travail conventionnel et de **41g** pour le semis direct. Des faibles valeurs de gluten sont obtenues avec les deux modes de travail du sol étudiés, de **27.79%** chez le semis direct à **30.38%** chez le travail conventionnel pour le gluten humide. Le gluten sec est de **10.04%** chez le semis direct et **10.99%** chez le blé conventionnel quant au gluten index a enregistré des valeurs de **44.66%** chez le semis direct et **26.29%** chez le travail du sol .

L'indice de brun est acceptable chez le semis direct avec **11.87** contrairement au travail conventionnel qui a un indice de brun plus élevé soit **15.70**, quant à l'indice de jaune, il est faible chez les deux semoules (**14.92** avec le semis direct et **15.19** avec le travail conventionnel)

La valeur boulangère est un facteur déterminant de la qualité du blé destiné à la panification, les résultats obtenus montrent une bonne valeur du blé issu de semis direct avec **224,31** face à **162.93** pour le blé issu du travail conventionnel. Ce qui révèle l'effet des pratiques culturales sur la qualité des produits de deuxième transformation du blé.

Mot clés : blé dur, panification, semis direct, le travail conventionnel, valeur boulangère.

Summary

Good quality durum wheat is recommended in all wheat processing technologies including breadmaking, several factors are combined in determining quality. The objective of our study is to study the effect of tillage mode on the variation in quality of durum wheat.

Two methods of tillage were studied, conventional tillage and direct sowing on the Bousselam variety cultivated in Algeria. The results showed a strong effect on the quality of this variety. The mitadinage rate is markedly higher for wheat produced from direct sowing 14.33 compared to 1% obtained with conventional tillage. However, the weight of a thousand kernels is 43.5g for conventional work and 41g for direct sowing. Low gluten values are obtained with the two modes of tillage studied, from 27.79% in direct sowing to 30.38% in conventional tillage for wet gluten, dry gluten is 10.04% in direct sowing and 10.99% in conventional wheat with regard to the gluten index recorded values between and 44.66% in direct sowing and 26.29% in tillage.

The brown index is acceptable in direct sowing with 11.87 unlike conventional work which has a higher brown index, i.e. 15.70, as for the yellow index, it is low in both semolina (14.92 with direct sowing and 15.19 with conventional work)

The baking value is a determining factor of the quality of wheat intended for breadmaking, the results obtained show a good value of wheat from direct sowing with 224.31 compared to 162.93 for wheat from conventional work. This reveals the effect of cultivation practices on the quality of secondary wheat processing products.

Keywords: durum wheat, breadmaking, direct sowing, conventional work, baking value

Table de matières

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

Chapitre I : Le blé

I-1) Taxonomie.....	03
I-2) Classification botanique du blé du blé dur.....	03
I-3) Morphologie.....	04
I-4) Le cycle végétatif du blé.....	05
I-5) Composition biochimique du grain du blé.....	06
I-6) Evolution de la filière céréalière en Algérie.....	09
I-7) Exigences écologiques du blé dur.....	09
I-8) Qualité et utilisation du blé dur.....	09
I-8-1) Facteurs affectant la qualité du blé.....	11

Chapitre II. Chapitre II. Travail du sol conventionnel et semis direct

II-1) Généralités sur le travail du sol.....	14
II-2) Techniques du travail du sol.....	14
II-2-1) Le travail du sol avec labour « conventionnel ».....	14
II-2-1-1) Les différents outils utilisés en Algérie pour la préparation du sol.....	15
II-2-1-2) Inconvénients du travail du sol.....	16
II-2-2) Techniques culturales simplifiées « travail minimum ».....	16
II-3) le semis direct.....	17
II-3-1) Définition et principes du semis direct.....	17
II-3-2) Objectif de semis direct.....	18
II-3-3) Principe.....	18
II-3-4) Equipement du semis direct.....	19
II-3-5) Choix et conduite des cultures.....	20
II-3-6) Avantages et contraintes du semis direct.....	20
II-3-7) Système de semis direct en Algérie.....	21

Chapitre III. Technologie de transformation du blé dur

III-1) La transformation du blé dur en semoule.....	23
III-1-1- Le nettoyage de blé.....	23
III-1-2- Le conditionnement.....	23
III-1-3) La mouture.....	24
III-2) Les étapes de la mouture.....	24
III-2-1) Le broyage.....	24

III-2-2) Le blutage (division)...	25
III-2-3) Le sassage.....	25
III-2-4) Désagrégage	25
III-2-5) Le convertissage	25
III-3) Les produits finis...	26
III-4) Définition de la semoule.....	26
III-5) Classification de semoule.....	26
III-6) Qualité technologique du blé dur.....	27
III-6-1) La valeur semoulière.....	27
III-6-2) Valeur boulangère	28
III-6-3) La valeur pastière	29

Chapitre IV: Technologie de panification

IV-1) Caractéristiques de la panification du blé dur.....	31
IV -1-1) Dimension des particules et teneur en amidon endommagé	31
IV- 1-2) Absorption de l'eau	32
IV -1-3) Protéines et qualité du gluten.....	32
IV -1-4) Stabilité de la pâte	32
IV -1-5) Couleur du pain de blé dur	33
VI) La panification	33
IV-1) Le procédé de panification.....	33
IV -1-1) Les ingrédients.....	33
IV -1-2) Les étapes de panification.....	35
VI-2) Caractères organoleptiques	37

V Chapitre : Matériel et méthodes

V-1) Matériel végétal.....	39
V-2) Analyses physicochimiques	39
V-2-1) Poids de mille grains.....	39
V-2-2) La teneur en eau.....	39
V-2-3) Taux de mitadinage	39
V-2-4) Détermination de la moucheture.....	40
V -3) Transformations des grains en semoule.....	40
V-3-1) Nettoyage du blé.....	40
V-3-2) Conditionnement... ..	41
V-3--3) Mouture.....	41
V-3-4) Taux d'extraction de semoule.....	41
V-4) Analyses de semoule.....	41

V-4-1) Indice de coloration	41
V-4-2) Analyses technologiques.....	42
V-4-2-1) Teneur en gluten.....	42
V-4-2-2) Capacité d'hydratation.....	43
V-4-2-3) Test de sédimentation.....	43
V-5) Test de Panification.....	43
V.6) Analyse statistique.....	46

Chapitre VI Résultats et discussion

VI-1) Analyses physicochimiques.....	47
VI-1-1) Poids de mille grains... ..	47
VI-1-2) Teneur en eau	48
VI-1-3) Le taux de mitadinage.....	49
VI-1-4) Le taux de moucheture	49
VI-2) Le taux d'extraction	50
VI-3) analyses de semoule... ..	51
VI-3-1) Taux d'humidité des semoules	51
VI-3-2) Indice de coloration... ..	52
VI-3-2--1) Indice de jaune.....	52
VI-3-2-2) Indice de brun	53
VI-3-3) Les analyses technologiques... ..	54
VI-3-3-1) Gluten humide.....	54
VI-3-3-2) Le gluten sec	55
VI-3-3-3) Le gluten index... ..	56
VI-3-3-4) Capacité d'hydratation	57
VI-3-3-5) Test de sédimentation	58
VI-4) Test de panification	59
Conclusion.....	65

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Figure 1. Coupe longitudinale d'un grain de blé (Surget et Barron ,2005)	04
Figure 2. Cycle de développement du blé (Henry et Buysler, 2000).....	06
Figure 3. Matériel utilisé dans le travail du sol « cover crop ».....	16
Figure 4. Relation du système de semis direct avec les composantes de l'environnement et Décisions agricoles (Mrabet, 2001).....	19
Figure 5. Semis direct au semoir Semeato-Personale Drill 17 cm (ITGC, 2015)	20
Figure 6. Diagramme de la mouture du blé dur (Abecassis, 1991)	26
Figure 7. Etapes de la fabrication du pain (Garcia, 2005)	37
Figure 8. Poids de mille grains des deux modes de travail du sol	47
Figure 9. Taux d'humidité des grains de deux modes de travail du sol.....	48
Figure 10. Taux de mitadinage des deux modes de travail du sol	49
Figure 11. Taux d'extraction pour les deux types de travail du sol	50
Figure 12 Humidité de la semoule des grains de blé dur.....	51
Figure 13. Indice de jaune du blé dur des deux modes de travail du sol	52
Figure 14. Indice de brun du blé dur des deux modes de travail du sol	53
Figure 15. Gluten humide des semoules des deux types de travail du sol	54
Figure 16. Gluten sec des semoules des deux modes de travail du sol.....	55
Figure 17. Gluten index des semoules des deux modes de travail du sol	56
Figure 18. Capacité d'hydratation des semoules des deux modes de travail du sol ...	57
Figure 19. Test de sédimentation SDS de blé dur des deux modes de travail du sol... ..	58
Figure 20. Les étapes de panification (S.D).....	60
Figure 21. Les étapes de panification (S.D).....	60
Figure 22. Poids du pain	61
Figure 23. Volume du pain des de deux modes de travail du sol	62
Figure 24. Aspect du pain des deux modes de travail du sol.....	63
Figure 25. Aspect de la mie des deux types de travail du sol	63
Figure 26. Valeur boulangère	64

Liste des tableaux

Tableau I. Classification botanique du blé	03
Tableau II : composition biochimique du grain de blé.....	07
Tableau III : grandes culture en Algérie : tendances et couts de production (2017/2018).	09
Tableau IV : effet de fertilisation azotée (kg/ha) sur le rendement en grain (q/ha)	12
Tableau V : méthodes, choix des outils et déroulement des travaux de préparation du sol	22
Tableau VI : principaux produits de la mouture de blé.....	26
Tableau VII : caractéristiques de quelques variétés de blé dur.....	30
Tableau VIII : fonctions des principaux composants utilisés dans le pain... ..	34
Tableau IX: échelle de classement des indices colorimétriques	53

Liste des abréviations

AFNOR : association française de normalisation

ANOVA : analyse de la variance

C° : degré Celsius

cm : centimètre

Cm³ : centimètre cube

Gh : gluten humide

Gs : sec

Gi : gluten index

g : gramme

H% : humidité

ha : hectare

ISO : organisation internationale de normalisation

ITGC : institue technique des grandes cultures

mm : millimètre

NF : norme française

PMG : poids de mille grains

q : quintal

q/ha : quintal par hectare

S.D : semis direct

T.C : travail conventionnel

TE : teneur en eau

µm : micromètre

Introduction

Introduction

Les céréales en général, le blé en particulier constituent la principale base du régime alimentaire pour le consommateur algérien. En Algérie, le secteur des céréales occupe une place vitale en termes socio-économiques et parfois politique. Sur le marché mondial, l'Algérie demeure toujours parmi les grands importateurs de céréales en particulier le blé tendre du fait de la faible capacité de la filière nationale à satisfaire les besoins de consommation croissants de la population. En effet, la production locale de céréales ne couvre qu'un peu plus de 30% des besoins du pays (**Ammar, 2014**).

Leur utilisation est très différente principalement en semoulerie et en meunerie, pour produire la semoule à partir du blé dur et la farine à partir du blé tendre (**Djelti, 2014**), et aussi le blé est utilisé depuis plusieurs années comme matière première pour la fabrication de biocarburants (**Debiton, 2010**).

Plusieurs paramètres physiques, chimiques et technologiques contribuent à l'amélioration de la qualité du blé qui sont à leurs tours influencées par d'autres facteurs tels que le choix des variétés cultivées, les conditions de développement des plantes (pratiques agricoles, conditions météorologiques, nature des sols,...), les modes de stockage etc. (**Feillet, 2000**). Elle peut être considérée comme la somme de caractéristiques dont dépendent d'une part la valeur semoulière (aptitude à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée) et d'autre part la valeur pastière (aptitude à donner des pâtes alimentaires dont la coloration et la qualité culinaire satisfait les attentes des consommateurs)(**Lasser et al, 2002**).

En Algérie la notion de qualité du grain chez le blé n'est pas encore prise en considération par les pouvoirs publics dans la formation des produits locaux. Le prix d'achat d'un quintal du produit est le même quel que soit leur teneur en protéines, alors que cette teneur est un critère qui fixe le prix du blé dur sur le marché international (**Hamadache, 2011**).

Cette qualité est recherchée dans la transformation du blé en produits dérivés, notamment dans la fabrication du pain qui constitue l'aliment majeur de l'alimentation des algériens. Le but de ce travail rentre dans le contexte de la détermination des conditions culturelles qui peuvent varier l'expression de la qualité du blé.

Parmi les conditions de cultures la mise en place constitue un facteur important dans la variation de la qualité. Pour cela deux différents modes de semis à savoir, le travail du sol

conventionnel et le semis direct ont été étudié sur une variété de blé dur « bousselam » cultivée en Algérie.

L'objectif essentiel de l'étude vise à déterminer :

- L'impact du mode de semis sur la qualité du blé dur
- Aptitude à la panification du blé issu de deux différents modes de semis.

Chapitre I

Le blé

Chapitre I : Le blé

I-1) Taxonomie

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *triticum* de la famille des *gramineae*. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (**Feillet ,2000**). Plusieurs espèces cultivées, subspontanées et spontanées ont été décrites dont les plus cultivées et les plus répandues dans le monde sont le blé tendre *triticum aestivum* L et le blé dur *triticum durum* L (**Hamadache, 2013**).

Les blés cultivés aujourd'hui dans le monde appartiennent au genre *Triticum*, qui regroupe plusieurs espèces leur génome de base comporte sept chromosomes, avec plusieurs variantes, les plus importantes pour la genèse du blé étant notées A, B et D par les généticiens (**Le stum, 2017**), l'endosperme de blé dur a la structure la plus dure de tous les blés. L'amande du blé dur est plus large et plus vitreuse que celle de blé tendre ce qui lui confère l'aptitude particulière à être transformé en semoule (**Liu et al, 1996**).

Le blé dur se distingue du blé tendre par des caractères morphologiques, physiologiques, cytologiques et technologiques (**Hamadache, 2013**) :

- Un nombre de chromosome inférieur soit 28 portés par les génomes A et B contre 42 pour le blé tendre ;
- Un système racinaire plus profond et plus puissant ;
- Un tallage-épi plus faible ;
- Une feuille longue étroite et glabre ;
- Un épi compact, barbu à glumes longues fortement carénées ;
- Un grain dur allongé et à texture vitreuse et à brosse peu développée.

I-2) Classification botanique du blé dur

Le blé dur est une monocotylédone qui obéit à la classification suivante :

Tableau I. Classification botanique du blé. (**Feillet, 2000**)

Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Super Ordre	Commeliniflorales
Ordre	Poales
Famille	Graminacée
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	Triticum
Espèce	Triticum durum Desf

I-3) Morphologie

Un grain de blé est constitué de trois parties (**Hamadache, 2013**) :

- **Les enveloppes** (14 à 16% du poids du grain), elles donnent le son après la mouture. Elles sont en nombre de quatre : le péricarpe, le tégument séminal, la bande hyaline et l'assise protéique.
- **L'amande** ou l'endosperme (81 à 88% du poids du grain). Elle donne la farine ou la semoule après la mouture de grain. L'amande est riche en amidon alors que le germe (la future plante) est riche en protéines, en matières grasses en minéraux en vitamines (B et E).
- **Le germe** (2 à 3 % du poids du grain), Il se compose de deux parties : L'embryon (ébauche de la plantule) qui comprend des feuilles, l'apex, et des racines à l'état rudimentaire et le scutellum (ou cotylédon) riches en protéines, matières grasses en vitamines et un peu d'amidon.

Le scutellum est un organe de réserve mais surtout un organe suceur qui grâce aux enzymes de ses cellules externes transforme l'amidon pour la plantule en croissance.

L'ébauche de la plantule (germe) est formée :

- D'une radicule protégée par un capuchon (le co-léorhize) ;
- D'une tigelle qui donnera la future tige ;
- D'une gemmule ou plumule formée de plusieurs ébauches de feuilles entourant un minuscule bourgeon (apex). Elle est recouverte par une sorte de doigt de gant : le coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille et perforateur de sol.

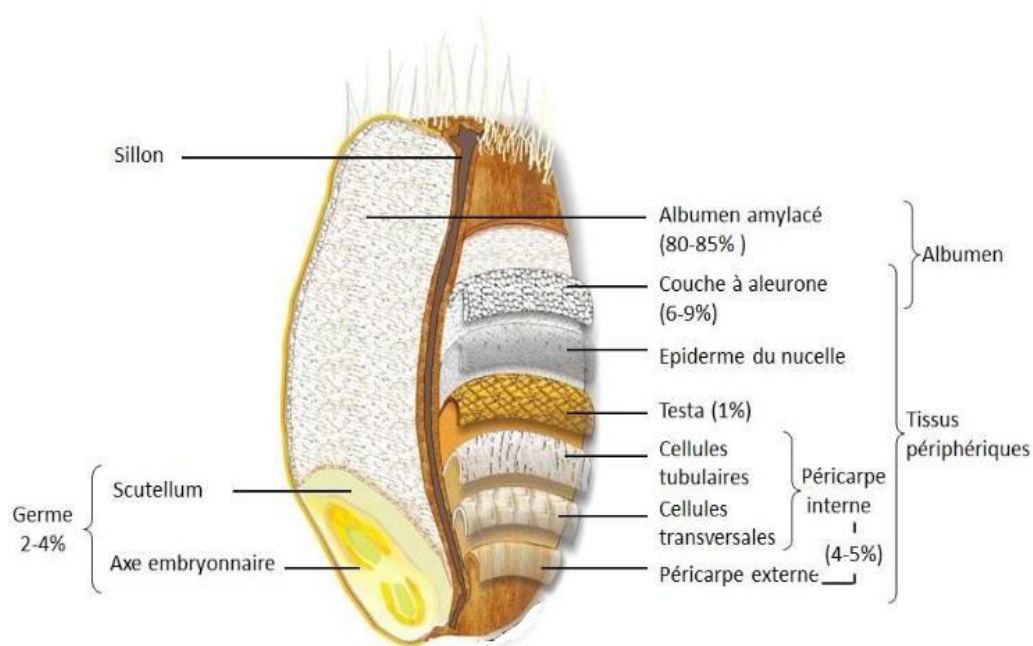


Figure 1. Coupe longitudinale d'un grain de blé (**Surget et Barron ,2005**)

I-4) Le cycle végétatif du blé

Le cycle évolutif du blé se divise en trois périodes, chacune comporte des phases caractérisées par des stades repères. La réalisation des différents stades est sous le contrôle de la somme des températures journalières (degré-jour) subie par la plante, plus cette somme est élevée, plus la vitesse de croissance est élevée. (**Hamadache, 2013**).

On distingue Cinq phases de croissance (**Hamadache, 2013**)

Phase feuilles (3-4 feuilles) nécessite 3 semaines après la levée. elle commence par l'apparition de la première feuille et se termine par l'apparition de la quatrième feuille;

Phase tallage nécessite 4 à 6 semaines après la levée : elle commence par le stade 4 feuilles et se termine à la montaison ;

Phase montaison nécessite 6 à 9 semaines après la levée : elle commence par l'apparition de la première tige (nœuds) et se termine à l'apparition de la dernière feuille (étendard) (**Hamadache, 2013**) ;

Phase épiaison nécessite 9 à 12 semaines après la levée : elle commence par l'apparition du premier épi et se termine à la floraison (**Hamadache, 2013**) ;

Periode de remplissage et maturité nécessite plus de 11 semaines après la levée (**Hamadache, 2013**). C'est la dernière phase du cycle végétatif. Elle correspond à l'élaboration de la dernière composante constitutive du rendement qui est le poids du grain, suite à la migration des substances glucidiques produites par la feuille étendard et stockées dans le pédoncule de l'épi (**Gate, 2003**).

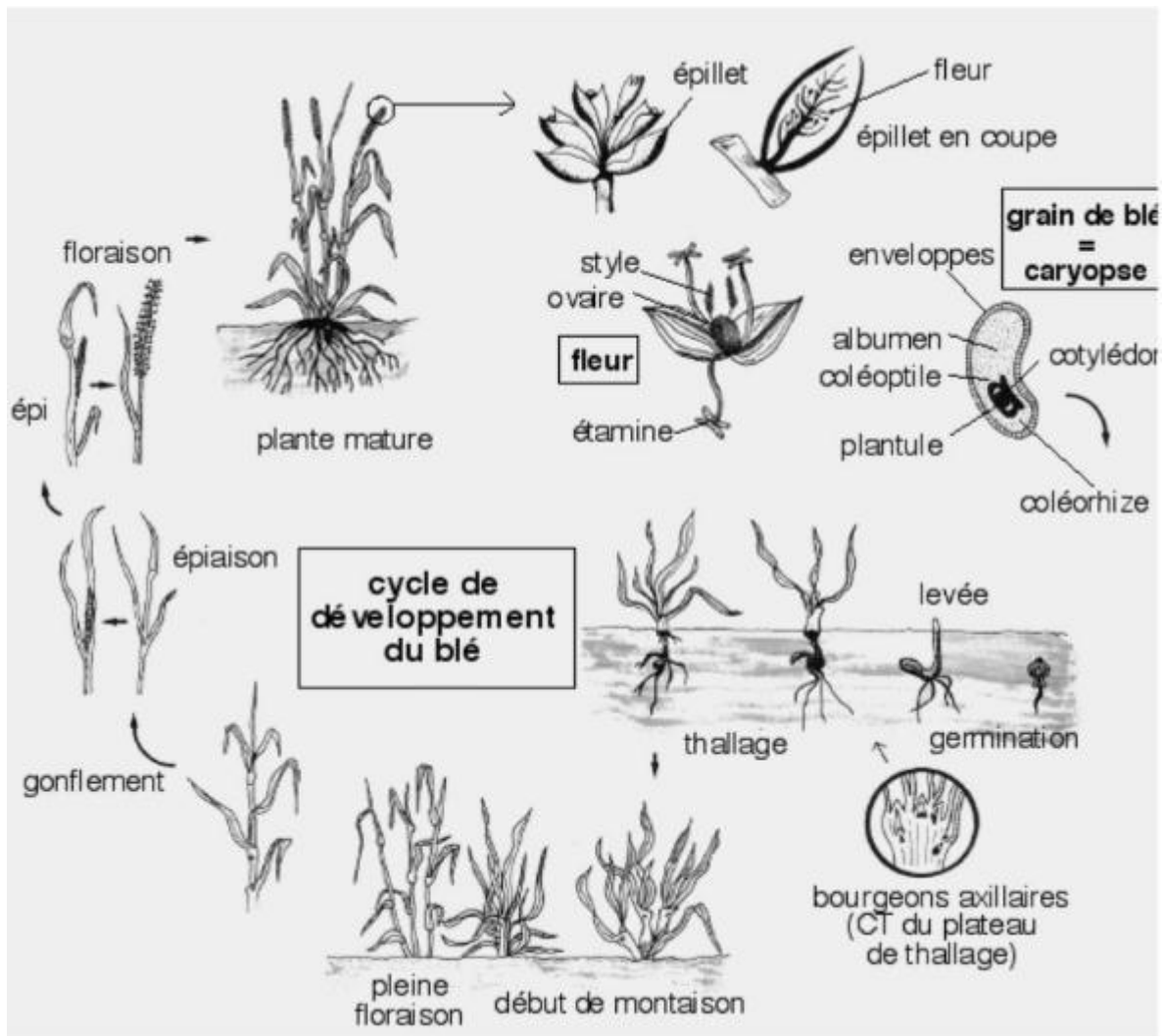


Figure 2. Cycle de développement du blé (Henry et Buysler, 2000).

I-5) Composition biochimique du grain du blé

La qualité du blé est influencée par chacun des constituants du grain qui joue un rôle seul ou en interaction avec d'autres constituants dans l'expression de la qualité. Parmi ces composantes : Les protéines, l'amidon, les sucres, les lipides, les enzymes, etc. (Scotti, 1997).

Les grains de céréales contiennent 10 à 15% d'eau, 70 à 76 % de glucides, en particulier sous forme d'amidon, de 8 à 12 % de protéines (et même 14% dans le blé dur). La teneur en lipides est faible, de 2 à 4%, ils sont surtout présents dans le germe, et éliminés lors de la mouture (Dupin, 1992).

Tableau II. Composition biochimique du grain de blé (Feillet, 2000).

Constituants	Grain%	Péricarpe%	Aleurone%	Albumen%	Germe%
Protéine	13.7	4.4	15.3	73.5	6.8
Lipide	2.7	0	23.6	62.9	13.5
Amidon	80	0	0	100	0
Sucre réducteur	2.4	0	0	62.7	37.3
Pentosanes	7.4	35.1	43.8	18.3	2.9
Cellulose	2.8	87.1	7.6	3.1	2.2
minéraux	1.9	22.6	43.6	22.6	9.7

N.B : chaque organe a un pourcentage des composants propre à lui.

I-5-1 l'eau

Les grains du blé sont particulièrement déshydratés, leur teneur en eau est aux environs 14 %, de fait de leurs fonctions d'abord protectrice de l'embryon, puis ensuite nourricière de la jeune plante (Godon et Willm, 1998). L'intérêt de connaître précisément la teneur en eau d'une céréale ou de la farine est avant tout réglementaire. En effet, la réglementation impose une teneur en eau < à 15% afin de faciliter la conservation et d'éviter une altération (Scotti, 1997).

I-5-2 Glucides

Les glucides sont pondéralement les constituants majeurs du grain de blé (Feillet, 2000). Ils sont principalement constitués par de l'amidon, rassemblé sous forme de granules (Godon et Willm, 1998). L'amidon constitue le glucide le plus consommé dans le monde. C'est grâce à leur richesse en amidon que les céréales sont une source d'énergie. L'amidon a un rôle important dans la panification puisqu'il assure la dilution du gluten, fixe l'eau et constitue une source de sucres fermentescibles (Feillet, 2000).

I-5-3 Pentosanes

Les pentosanes sont des polysaccharides non amylacés, principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen, ils représentent 6 à 8 % du grain et 2 à 3 % de la farine, leur teneur dans les grains est une caractéristique fortement héritable, ils sont subdivisés en pentosanes solubles et en pentosanes insolubles en fonction de leur solubilité dans l'eau froide. Les sons sont beaucoup plus riches en pentosanes que le cœur de l'albumen (Feillet, 2000).

I-5-4 Lipides

La composition lipidique des farines dépend de leur taux d'extraction parce que les principales matières grasses du blé sont inégalement distribuées dans le grain, le germe et la couche à aleurone en sont particulièrement riches. Les lipides représentent en moyenne 2 à 3 % du grain sec des céréales, certains sont libres, mais la majorité sont associés aux protéines et à l'amylose (Morisson, 1978; Drapron et Godon, 1987). La variété de blé de mauvaise valeur boulangère renferme systématiquement environ 0,20 % de moins de lipides que les bonnes variétés (Godon, 1991).

I-5-5 Vitamines

Les vitamines sont des substances organiques très actives à petites doses, la principale vitamine de blé est la vitamine E, abondante dans le germe (**Rocherette, 1974**). Ce sont aussi les vitamines B1, B2, et B3 et B5 qui dominent, surtout dans le germe et dans l'enveloppe des grains.

I-5-6 Oligoéléments

Sont des substances se trouvant en très petites quantités dans nos aliments d'origine végétale ou animale. À petites doses, certains sont indispensables à la vie, beaucoup sont plus toxiques lorsqu'ils sont absorbés à haute dose. Les enveloppes des blés contiennent 5% de minéraux (Cobalt, cuivre, fer, iode, fluor, zinc, soufre, sélénium) (**Bushuk, 1986**).

I-5-7 Les protéines

Le grain de blé dur est constitué d'environ 12 % de protéines, qui sont essentiellement localisées dans l'albumen et la couche à aleurone. Cette teneur est susceptible de varier énormément (de 8 à 20 % de MS), en fonction des variétés, des facteurs climatiques, agronomiques et des conditions physiologiques de développement de la plante, des parties histologiques du grain et de la maturation du grain.

C'est à Osborne (**1907**) que l'on doit la première classification des protéines (**Linden et Lorient, 1994**) :

- Albumines solubles dans l'eau pure;
- Globulines solubles dans les solutions salines diluées;
- Prolamines solubles dans l'éthanol aqueux;
- Glutélines insolubles dans les solvants précédents, mais solubles dans les solutions diluées acides ou basiques.

Les protéines de réserve constitués de gliadines et de gluténines vont former le gluten.

Le gluten est un complexe protéique viscoélastique que l'on peut obtenir par lixiviation sous un mince filet d'eau, d'un pàton formé de semoule ou de farine de blé et d'eau. Le gluten est constitué de 75 à 80 % de protéines, 5 à 7 % de lipides, 5 à 10 % d'amidon, de 5 à 8 % d'eau et des matières minérales en proportion plus faibles (**Linden et Lorient 1994**). Le gluten est constitué de protéines (80%), de lipides (08%) et de sels minéraux et de glucides. Les protéines du gluten sont un mélange en proportions variables de deux types de protéines, gliadines et de gluténines, dont la proportion moyenne de 52 % et de 48 % respectivement, avec des traces de protéines solubles, les gliadines présentent une structure repliée et sont formées d'unités moléculaires variant de 35000 à 44000 daltons. La stabilité de chaque unité est assurée par des liaisons disulfures intramoléculaires. L'hydratation de la gliadine à l'état natif donne une masse visqueuse, extensible et de faible élasticité (**Feillet, 2000**).

I-5-8 Enzymes

Les enzymes sont des protéines qui exercent une activité catalytique spécifique d'un très grand nombre de réactions chimiques. Les principaux facteurs du milieu qui contrôlent leur fonctionnement sont la température, le pH et l'activité de l'eau (**Feillet, 2000**). Parmi les nombreuses enzymes réparties dans les différentes régions histologiques du grain, dans le germe et la couche à aleurone notamment, celles qui appartiennent aux familles des hydrolases et des oxydoréductases sont les seules dont la présence a été mise en relation avec la qualité des farines (**Feillet, 2000**)

I-6) Evolution de la filière céréalière en Algérie

La filière céréalière a depuis longtemps été un sujet important d'intervention de l'État dans le secteur agricole (**Djermoun, 2009**), La présentation de la politique algérienne des blés commencera par celle des principales mesures qui ont caractérisé, pour cette filière comme pour l'ensemble de l'appareil productif national, les politiques socio-économiques successives. Nous avons opté pour la périodisation suivante (**Bencharif et al ,1996**)

La consommation augmente rapidement, principalement du fait de la croissance du nombre de consommateurs qui a doublé en vingt ans. La productivité nationale est assez faible puisqu'elle ne tourne qu'autour de 08 à 10 qx/ha et ceci se répercute sur l'écart qui s'est creusé entre l'offre et la demande qui est énorme (**Selmi, 2000**).

Tableau III. Grandes cultures en Algérie : tendances et couts de production (2017-2018)

(ITGC. 2018)

	Superficie (ha)	Production(q)	Rendement q/ha)
Blé dur	1599294	31636398	21.27
Blé tendre	480725	7982079	17.67
Orge	1284726	19505047	17.98
Avoine	81201	1174479	15.23
Total	3445947	60298003	19.44

I-7) Exigences écologiques du blé dur

Le blé dur n'a pas les mêmes exigences que le blé tendre. Il a des besoins élevés en ensoleillement, une faible résistance au froid et à l'humidité, des rendements moyens (en général inférieurs à ceux du blé tendre, sauf pour les variétés récentes), une sensibilité à certaines maladies cryptogamiques plus grande que chez le blé tendre.

Le blé dur exige un sol sain, drainant bien mais pas trop sujet au stress hydrique surtout pendant la période de l'accumulation des réserves dans le grain. L'installation du blé dur dans les terres se ressuyant mal, le rend plus sensible aux maladies cryptogamiques telles que les piétins et les fusarioses. (**Si bennasseur,2004**)

I-8) Qualité et utilisation du blé dur

La qualité du blé, c'est-à-dire la valeur boulangère du blé tendre et semoulière du blé dur, est l'un des soucis majeurs des sélectionneurs, des agronomes et des utilisateurs. Cette qualité

est dépendante de plusieurs facteurs d'ordre génétique, pédoclimatique, agrotechnique et technologique. (**hamadache, 2013**).

Le blé, dur et tendre, peut être utilisé de plusieurs manières :

Comme grain pour :

- la production de la semoule et de la farine pour la fabrication du pain et des pâtes. Une forte teneur en protéines est, dans ce cas, recherchée;
- l'alimentation des monogastriques (volaille et porcs surtout). Une forte teneur en protéines et surtout en lysine (acide aminé essentiel) est dans ce cas recherchée;
- la production de l'amidon avec un grain à forte teneur en amidon;
- La production d'alcool à partir d'un grain à forte teneur en amidon et faible teneur en protéines.

Le blé dur a plusieurs utilisations dans l'alimentation humaine des populations du bassin méditerranéen et du Moyen-Orient. Des plats nationaux tels que le Couscous, la galette, le frik (en Afrique du Nord), Bourghoul, Frike en Syrie et au Liban, les Spaghetti et Macaroni en Italie sont tous fabriqués à partir de la semoule de blé dur. La valeur du grain du blé dur signifie un rendement élevé en semoule, une pâte ferme après cuisson et une couleur jaune ambré. Un grain de texture vitreuse donne plus de semoule qu'un grain farineux (mitadiné). Le grain du blé dur est, en général, plus riche en gluten. La qualité semoulière du grain de blé dur s'apprécie, en général, par la mesure d'un certain nombre de paramètres sur le grain et qui sont:

- la teneur en cendres : une faible teneur en matière minérale permet une extraction plus poussée de la semoule;
- la teneur en protéines et leur composition conditionnent la valeur de la semoule;
- la couleur ou indice de jaune qui lui-même dépend de la teneur de l'endosperme en pigments jaunes. (**Hamadache 2013**).

L'appréciation de la qualité des produits de récolte repose sur les caractéristiques suivantes : (**LECOMTE, 2005**).

- ✓ Teneur en protéines totales du grain ;
- ✓ Test alvéographe Chopin ;
- ✓ Essai de panification française ;
- ✓ Test améliorant et farinographe ;
- ✓ Test européen de machinabilité ;
- ✓ Test biscuitier ;
- ✓ Test Zélény ;
- ✓ Test Hagberg ;
- ✓ Test de dureté (pour information) ;

- ✓ Test de viscosité (pour information).

I-8-1) Facteurs affectant la qualité du blé

Les facteurs qui affectent la qualité du grain du blé peuvent être divisés en deux groupes : les facteurs internes ou intrinsèques d'ordre génétique et les facteurs externes ou extrinsèques d'ordre environnemental agronomique. Il existe bien entendu des interactions entre les deux groupes de facteurs

Les principaux facteurs intrinsèques de qualité chez le blé sont le type et la qualité des protéines du grain, les caractéristiques de l'amidon, la couleur du grain, le mitadinage, etc.

Pour les facteurs extrinsèques, il faut signaler le climat, le type de sol et les facteurs agrotechniques. Ces facteurs agissent sur la variation de la teneur du grain de blé en protéines totales, en gluten et sur le taux de mitadinage. (**Hamadache, 2013**).

I-8-1-1) L'effet variétal

Son effet sur la qualité du blé dur ou du blé tendre est bien connu. Chez le blé tendre, on distingue, en effet, des blés dits de force, des blés de bonne valeur boulangère et des blés non panifiables.

Les blés de force (Florence Aurore par exemple) sont utilisés pour le coupage des blés non ou peu panifiables (Mahon Demias par exemple). Les blés non panifiables sont utilisés dans l'alimentation animale et dans la biscuiterie. Les blés de bonne valeur boulangère sont utilisés dans la fabrication du pain (voir annexe 1).

1-8-1-2) Le Climat et qualité du blé

Pour les conditions climatiques, il est admis qu'une sécheresse durant la période de remplissage -maturation du blé améliore la teneur du grain en azote, autrement dit, en protéines. La qualité du grain de blé se forme le long du cycle évolutif de la céréale. Elle peut donc bien être affectée négativement ou positivement le long de ce processus.

L'échaudage donne un grain de blé riche en protéines surtout si le sol est riche en nitrate (ex. Précédent jachère travaillée). L'irrigation fait, par contre, diminuer la teneur du grain en protéines.

Une courte durée séparant la formation et le remplissage du grain induit une forte teneur du grain en gluten (protéine du grain composée de gliadine et gluténine). Un hiver froid suivi d'un été chaud induit aussi une dessiccation rapide du grain et donc un grain riche en protéines.

1-8-1-3) Le semis précoce

Le semis précoce permet un rendement élevé mais avec une teneur et une qualité des protéines faibles. Ceci est surtout valable pour les blés cultivés en zones sèches, cas de

l'Algérie. Une forte dose de semis (plus de 150 kg/ha) produit des grains de petite taille et de faible valeur meunière.

1-8-1-4) La monoculture céréalière

Les résultats des expérimentations menées en Afrique du Nord sur le blé pluvial ont montré que la monoculture céréalière affecte à la fois le rendement en grain et sa qualité. Une rotation à base de légumineuses la lentille dans ce cas, a fortement amélioré le rendement en grain et sa teneur en protéines. Le test de sédimentation est d'autant plus élevé que la qualité des semoules ou farines est bonne.

1-8-1-5) La fertilisation

La fertilisation azotée agit sur le rendement et qualité du grain (et de la paille) par la dose totale apportée et surtout par la période de son application par rapport au cycle de la culture.

Pour la dose totale, il a été démontré par de nombreuses expérimentations que le rendement en grain, la teneur en protéines du grain, le mitadinage du blé pluvial sont améliorés des doses par croissantes d'azote.

Il faut rappeler que la valeur ou la qualité boulangère d'un blé tendre dépend de la teneur du grain en protéines, elle-même très corrélée positivement à la teneur du grain en gluten humide et sec. L'azote a, aussi, amélioré le taux de gluten sec et ce quel que soit l'espèce et la variété.

La fertilisation azotée influe aussi directement sur le mitadinage du grain de blé dur (tab. IV). Les résultats d'une expérimentation mise en place à la station expérimentale de l'ITGC d'Alger a bien mis en évidence ce fait.

Pour la période d'apport, il a été aussi démontré qu'un apport précoce (hiver) de l'azote sur le blé produit plus de grain mais avec une faible teneur en protéines alors qu'un apport tardif (printemps) produit moins de grain mais plus riche en protéines. Le fractionnement de l'azote total en deux voire en trois apports est vivement recommandé sur le blé dur. un apport tardif améliore surtout la teneur du grain en protéines et réduit le mitadinage.

Tableau IV : effet de fertilisation azotée (kg/ha) sur le rendement en grain (q/ha), le taux de protéines (%MS) le taux de mitadinage(%) de 12 variétés de blé dur. (**hachemi et bederanger, 1977. Cité par hamadache, 2013**).

Dose d'azote (kg/ha) en 2 apports	rendement(q/ha)	Protéines (%)	Mitadinage(%)	protéines/ rendement(%)
0	20.11	10.07	70.59	Significatif
60	31.61	9.930	62.33	Très significatif
120	32.95	11.16	37.99	Très significatif

1-8-1-6) Les adventices

Les adventices concurrencent le blé pour les éléments fertilisants dont l'azote du sol. Elles affectent donc indirectement la qualité du grain. En outre, la présence de graines de certaines adventices, comme l'ail spontané (*Allium nigrum*), le mélilot (*Melilotus infesta*), en mélange avec le grain du blé donne à la farine ou à la semoule de ce dernier un goût désagréable. Une longue période de concurrence des adventices à la culture du blé affectent à la fois le rendement en grain et certains paramètres qualitatifs du grain, tel que le poids spécifique.

1-8-1-7) Insectes et maladies foliaires

Pour les insectes et maladies foliaires, leur présence après épiaison sur le feuillage (surtout sur les 3 dernières feuilles) et sur l'épi, provoquent une chute de poids du grain et un poids spécifique plus faible. Une protection de la culture du blé après épiaison de maladies foliaires et insectes piqueurs suceurs améliorent surtout le poids de 1000 grain et le poids spécifique (**hamadache , 2013**)

Chapitre II

Travail conventionnel et semis direct

Chapitre II. Travail du sol conventionnel et semis direct**II-1) Généralités sur le travail du sol**

Le travail du sol, c'est un ensemble d'opérations mécaniques fragmentant le sol (**Labreuche et al, 2014**) ainsi c'est une composante principale de l'itinéraire technique des grandes cultures. La valorisation des facteurs de production comme la variété. La semence certifiée, le semis en lignes, le désherbage chimique, la fertilisation et l'irrigation d'appoint dépend, en grande partie, de la qualité du travail du sol. (**Hamadache, 2001**)

Le travail du sol assure plusieurs fonctions. Il s'agit, en premier lieu, de créer un état du sol qui favorise la croissance et le développement de la culture. Le travail du sol a aussi pour rôle d'enfuir les résidus de récolte et les fertilisants ou les amendements ainsi il permet de maîtriser les populations d'adventices (**Viaux, 1999**).

II-2) Techniques du travail du sol**II-2-1) Le travail du sol avec labour « conventionnel »**

Le labour est un travail du sol profond avec retournement de la bande de terre (**Soltner, 1988**). Théoriquement, il consiste à découper une bande de terre de section rectangulaire par un soc et à la faire retourner par un versoir (**Candelou, 1981 in Amghar et Leftaha, 2009**). Le labour s'effectue sur un sol qui n'a pas été travaillé depuis l'année agricole précédente. Le labour s'effectue par des charrues simples ou réversibles.

Reprise de labour

Le travail secondaire est un ameublissement du sol sans retournement ; c'est-à-dire la réduction de la taille des mottes issue du labour (**Diehl, 1995**). La reprise de labour se fait par des outils à disques (cover crop) ou des outils à dents (cultivateur) en fonction de l'état du sol.

Préparation de lit de semence

La préparation de lit de semences est la dernière étape du travail conventionnel. Cette opération dont l'action est superficielle et affine la préparation de lit de semence. Elle consiste à réaliser un hersage-roulage (**Biosgontier, 1999**). La préparation du lit de semences consiste en un ensemble d'opérations de travail du sol superficiel (5 à 10 cm) réalisées à l'aide d'outils attelés à dents (cultivateurs légers), ou à pointes (herse). Elle peut se faire aussi par des rouleaux ou avec d'outils animés par la prise de force du tracteur (houe rotative, machine à bêcher, herse alternative, herse rotative). Le but de cette opération est d'obtenir une couche superficielle du sol favorable à la germination et à la levée des cultures.

II-2-1-1) Les différents outils utilisés en Algérie pour la préparation du sol (hamadache, 2001)**II-2-1-1-1) Les charrues**

Trois principaux types de charrues sont utilisés en Algérie pour le travail du sol.

Charrue balance : Utilisée autre fois pour le labour profond et sous soulage en sol profond (Kabylie surtout), Elle est consommatrice de temps et d'énergie et génère de grosses mottes difficiles à émietter plus tard.

Charrue à soc : avec coutre circulaire et rasette (dégage les mauvaises herbes). C'est encore la plus utilisée en grandes cultures. La version réversible est très recherchée. Elle exige moins d'énergie (65 cv.).

Charrue à disques : C'est la charrue des conditions et sols secs. Son utilisation répétée sur le même sol peut engendrer une semelle de labour.

Les outils à dent les plus utilisés sont: le chisel (pour le travail profond entre 20 et 25 cm), le cultivateur à dents (pour le travail moyen entre 10 et 15 cm), la herse (pour le travail superficiel entre 5 et 8 cm).

II-2-1-1-2) Le labour

Pour mettre en place une céréale, le labour du sol se fait souvent en automne après les premières pluies. Le travail en conditions sèches (été) est peu pratiqué. La qualité du labour dépend de l'état du sol (taux d'humidité), de sa profondeur, de sa texture et du réglage de la charrue.

Charrue à 3 disques portée : elle nécessite une force de traction moyenne (65 CV). Elle présente une largeur de travail assez grande, donc un rendement élevé. Elle est recommandée sur sol sec ou caillouteux.

Charrue bisoc réversible portée: C'est la plus utilisée par la majorité des agriculteurs. Elle est facile à transporter et à régler.

II-2-1-1-3) Les façons superficielles

Le but des façons superficielles qui suivent le labour est la préparation d'un lit de semences adéquat en vue de la mise en place de la culture dans de bonnes conditions possibles. Le disque ou le pulvérisateur ou le cover crop est l'outil de reprise et des façons superficielles plus utilisées par nos agriculteurs malgré ses nombreux défauts. D'autres outils disponibles sur le marché sont pourtant mieux indiqués pour la reprise du labour et la préparation du lit de semences mais très peu utilisés par nos agriculteurs.

La herse trainée est un autre outil largement utilisé en Algérie pour couvrir la semence semée à la volée. Elle assure le criblage du sol en déposant petites mottes en surface et la terre fine en profondeur. Elle permet aussi un certain nivellement du sol.

Le cultivateur, avec ses différentes versions, canadien, vibroculteur, «pattes d'oie», est l'outil de reprise du labour par excellence. Il permet un certain criblage de la terre labourée ,c'est un outil indispensable pour la préparation du lit de semences en grandes cultures.



Source : ITGC, 2015

Figure 3. Matériel utilisé dans le travail du sol « cover crop »

II-2-1-2) Inconvénients du travail du sol

Le travail du sol peut entraîner à moyen ou long terme la dégradation de la structure du sol, des pertes de matières organiques, l'érosion et la baisse de la biodiversité (**Friedrich, 2000**).

Le travail du sol modifie les propriétés structurales du sol, sa porosité et la répartition des matières organiques fraîches restituées ou apportées. Il affecte ainsi les organismes du sol directement en les blessant, les tuant ou en les exposant au risque de prédation (**Roger-Estrade et al, 2011**)

II-2-2) Techniques culturales simplifiées « travail minimum »

II-2-2-1) Définition

Les TCS sont appelées communément les Techniques Culturales Simplifiées ou encore les Techniques de Conservation des sols. D'après plusieurs auteurs, elles consistent à supprimer le labour profond et réduire les travaux de préparation du sol pour l'implantation des cultures. Il s'agit en fait, de travailler la terre superficiellement (du genre déchaumage ou scarifiage) pour l'enfouissement d'une partie des résidus de récolte par des outils spécifiques à ces techniques dont la profondeur du travail est de 5 à 10 cm. En profondeur, les auteurs affirment que la faune du sol notamment les vers de terre qui s'occupent du reste de travail (travail profond) (**Soltner 1998, Labreuche, 2007**).

II-2-2-2) Le principe des techniques culturales simplifiées ou le travail minimum du sol

Le travail réduit du sol est une pratique agro–environnementale que permet de garder une partie des résidus de récoltes sur au moins 30% de la surface du sol après le semis .Ce système est moins intensif que le travail du sol conventionnel. Effectivement, ce dernier implique un retournement du sol et une couverture par les résidus de moins de 30% de la surface (**Mathieu, 2004**). La notion de retournement du sol n'existe plus dans de travail minimum. On privilégie l'utilisation des outils à dents ou à disque, parfois des outils animés par la prise de force.

En Algérie, surtout dans les zones où les sols sont pauvres, peu profonds et très sensibles à l'érosion éolienne, leur travail nécessite un soin particulier. La préparation du sol est réalisée soit à l'aide d'un passage de chisel suivi d'un passage de cultivateur ou directement en utilisant un cultivateur à dents en double passage (passage croisés) (**Mahdi, 2004**). Dans ce contexte, Dans ce contexte, les outils à dent les plus utilisés sont: le chisel (pour le travail profond entre 20 et 25 cm), le cultivateur à dents (pour le travail moyen entre 10 et 15 cm), la herse (pour le travail superficiel entre 5 et 8 cm). Le travail réduit du sol se divise en deux grandes étapes :

- A. Travail primaire: étape au cours de laquelle le sol est brisé ou soulevé plutôt que retourné.
- B. Travail secondaire: étape au cours de laquelle on effectue la préparation du lit de semence, le nivellement de la surface du sol et l'incorporation des engrais et herbicides (**Mathieu, 2004**).

II-2-3) Le semis direct**II-2-3-1) Définition et principes du semis direct**

Le semis direct est une technique d'implantation des cultures qui repose sur un travail du sol localisé à la ligne de semis effectué par les éléments semeurs, sans travail entre les rangs semés ou en profondeur. La semence est positionnée par les éléments semeurs dans un sol non travaillé. (**Iebreuche et al, 2014**). C'est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures, dans lequel la semence est placée directement dans le sol qui n'est jamais travaillé. Dans le système de semis direct, les opérations se limitent à l'ensemencement de la culture. Le remaniement mécanique du sol est confiné à la seule implantation de la semence. L'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis et pendant la culture, est faite avec des herbicides, les moins polluants possibles pour le sol qui doit toujours rester couvert (**Mrabet, 2001**).

La notion du semis direct désigne une technique culturale simplifiée basée sur l'introduction directe de la graine dans le sol. C'est une technique admise comme une technique conservatrice du sol et la stabilisatrice des rendements (**Angar et al, 2010**).

Cette technique de culture appelé aussi "Non Labour», s'inscrit dans un ensemble de techniques connues en tant que "Agriculture de Conservation".

II-2-3-2) Objectif de semis direct

L'objectif fondamental de ces techniques est de conserver, améliorer et utiliser les ressources naturelles d'une façon plus efficace par gestion intégrée du sol, de l'eau, des agents biologiques et des apports de produits externes. Son objectif final est de mettre en place une agriculture durable qui ne dégrade pas les ressources naturelles, sans renoncer pour autant à maintenir les niveaux actuels de production (**Atares , 2006**)

II-2-3-3) Principe

Le semis direct est un paquet technologique qui repose sur quatre principes: (**Mrabet , 2001**)

- 1) supprimer les labours;
- 2) couvrir en permanence le sol par une couverture morte constituée de résidus de récolte;
- 3) semer directement à travers cette couverture protectrice à l'aide d'outils appropriés et
- 4) contrôler les mauvaises herbes sans perturbation du sol.

En fait, le système de semis direct vise à copier les écosystèmes naturels: il est basé sur une couverture de sol permanente et une perturbation minimale du sol. Ainsi, toute omission ou application défectueuse de l'un des quatre principes porte préjudice à la réussite du système de semis direct. A travers ces quatre principes, le semis direct permet d'une part le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols et la productivité des systèmes culturaux et d'autre part l'optimisation des ressources et de la gestion de l'exploitation agricole. (**Mrabet,2001**).

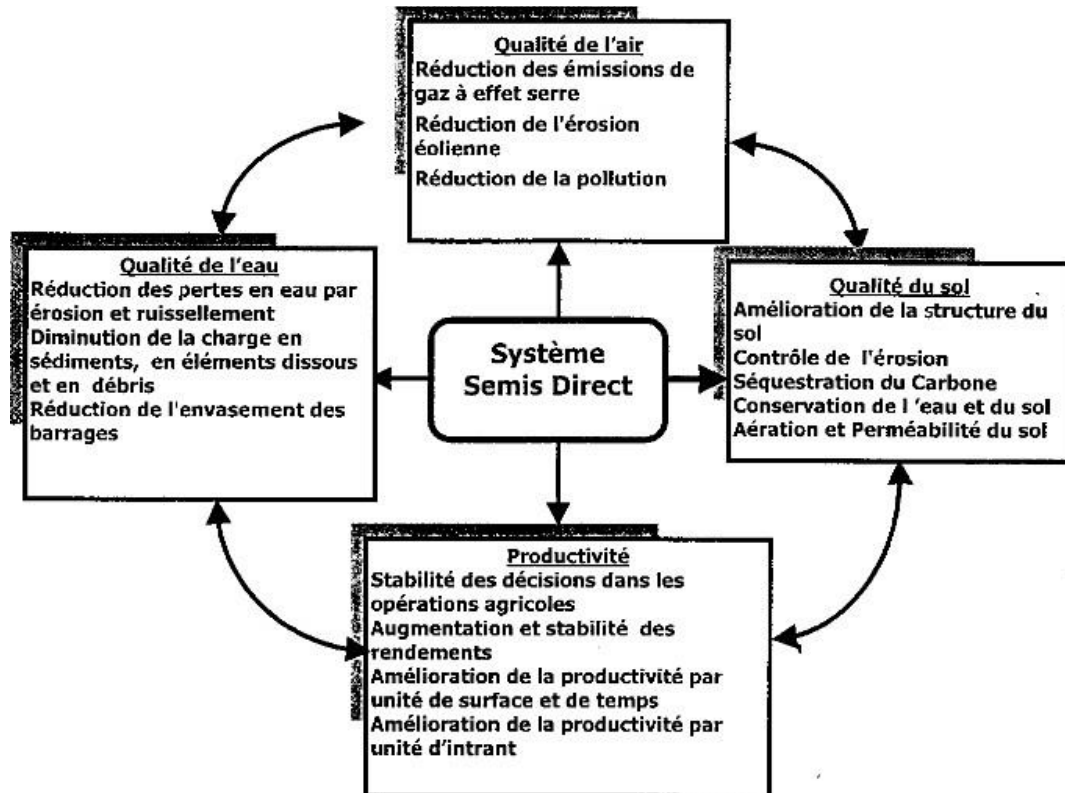


Figure 4. Relation du système de semis direct avec les composantes de l'environnement et décisions agricoles (Mrabet, 2001)

II-2-3-4) Equipement du semis direct

Pour réussir la conduite du non-labour, il est essentiel de disposer de semoirs adaptés. Le semis est réalisé à l'aide d'un semoir spécial qui peut semer et déposer les engrais dans un sol non perturbé et couvert de résidus de récolte. (Mrabet, 2001)

Il est doté de coutres pour couper les résidus et préparer des bandes étroites de sol qui facilitent le contact semence-sol. Plusieurs types de semeurs existent, et celui à soc est conseillé pour des semis précoces sur sols secs (Bourarach et al, 1998).

Ainsi, pour les conditions semi- arides nord-africaines où les sols au moment du semis sont secs, le semoir semis direct à soc permet à la fois de creuser un sillon et d'y déposer les semences à des profondeurs opportunes. Des roues de tassement servent à remplir le sillon, assurer un bon contact semence-sol et contrôler la profondeur de semis. En effet, la précision de placement de la semence et de l'engrais est la clé du succès. Le semoir est aussi équipé d'un système d'emplacement des engrais (Mrabet, 2001).



(Source : ITGC, 2015)

Figure 5. Semis direct au semoir Semeato-Peronale Drill 17 cm

II-2-3-5) Choix et conduite des cultures

Le semis direct doit être considéré comme un système et non pas comme une simple méthode de préparation du terrain. Pour que ce système soit efficace, il faut introduire la rotation des cultures, c'est-à-dire l'utilisation dans le temps et dans l'espace d'une séquence de cultures. La rotation des cultures est fondamentale pour la durabilité des systèmes de semis direct. (Mrabet,2001)

Les modalités de mise en œuvre du semis direct sont très diverses, et dépendent en premier lieu des conditions climatiques de la zone concernée. Plus la pluviométrie est importante, plus les modalités sont nombreuses et diversifiées. (Mrabet,2001)

D'abord appliqué au maïs(Zeamays L.), le semis direct avec conservation de résidus gagne d'autres cultures, à commencer par le soja (Glycinemax) et les céréales à petites graines (blé d'hiver, orge, blé tendre...), puis le cotonnier(*Gossypium hirsutum*L) (Triplett et al, 2008), le sorgho, le tabac, les légumes et l'arachide et les cultures d'hiver (le trèfle, vesce, et seigle) (Mrabet, 2001b) et la citrouille (Groff, 2011).

II-2-3-6) Avantages et contraintes du semis direct

II-2-3-6-1) Avantages du semis direct

Du point de vue agronomique, le sol tend à récupérer sa structure naturelle, en devenant plus poreux et léger. Puisque les galeries creusées par les vers et lombrics ne s'écrasent pas et celles réalisées par les racines de cultures, non plus. Cela permet un meilleur stockage de

l'eau, puisqu'elle descend en profondeur et reste à la disposition de la culture suivante, en facilitant le développement des racines des cultures implantées.

En plus, puisque sur le sol demeure une couche végétale constituée par les restes de la récolte antérieure, sol demeure protégé de deux façons :

-contre l'érosion hydrique, l'énergie des gouttes d'eau de pluie se perdant quand elles heurtent la couche superficielle et tombent sur le sol, sans casser ses particules. De plus, l'écoulement et les mouvements de terre sont freinés par les résidus végétaux, évitant la perte de sol fertile.

-contre l'érosion éolienne, puisque l'air bouge par dessus la couche de résidus et pas sur un sol émietté, en évitant, comme précédemment, la perte de sol fertile.

Le semis direct permet une prévention de la pollution des nappes phréatiques, des cours d'eau et des barrages par rétention des nitrates et des pesticides et par diminution de la charge solide des ruissellements (**Mrabet, 2001**)

Le semis direct permet de conserver les niveaux élevés de matière organique qui sont fondamentaux pour conserver la capacité potentielle de ces sols (**Xanxo et al, 2006**).

II-2-3-6-2) Contraintes du semis direct

Du point de vue agronomique, avant de commencer à utiliser cette technique, il faut faire une coupe dans le terrain pour vérifier qu'il n'y a pas de compactages dans la couche arable, ce qui empêcherait un développement végétatif correct. Dans ce cas, il faudrait faire un passage de sous-soleuse pour casser les tassements de labour existants.

Une évolution de la flore adventice est notée en cas de semis direct du blé. Ainsi, une sélection de la flore non contrôlée avec le temps par les herbicides des présemis est observée certaines espèces aux exigences particulières peuvent aussi se développer. (**Hamadache, 2013**)

Le semis direct induit une accumulation des éléments fertilisants dans la zone superficielle du profil (**Hamadache, 2013**)





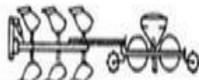









Du point de vue économique, l'inconvénient le plus important est le semoir, puisqu'il s'agit d'une machine spécialement conçue pour cette technique et son prix est élevé. Cet inconvénient peut être compensé par l'acquisition et l'utilisation en commun d'un semoir par plusieurs agriculteurs. (**Deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct-tabarka-tunisie-19-22janvier 2004**)

II-2-3-7) Système de semis direct en Algérie

En Algérie, les études sur le semis direct sont très limitées, elles n'ont entamé que depuis 2004, plus précisément, après la tenue de deux rencontres méditerranéennes du semis direct à Tabarka en Tunisie (essai longue durée à la ferme de démonstration et de production de semences d'Oued Smar, Alger), et ce afin d'évaluer l'effet du mode de gestion du sol sur

le comportement du blé et sur l'évolution de la structure du sol et la conservation en eau (Abdellaoui et al., 2011).

Tableau V : Méthodes, choix des outils et déroulement des travaux de préparation du sol (mosiman, 1991 cité par soutter et all, 2007)

Méthode de travail du sol	Etapas de travail du sol			Déroulement des travaux
Travail du sol dit « conventionnel » à la charrue	Travail primaire du sol	préparation du lit de semences	semis	Séparé
				Réduit Préparation du lit de semences et lit en une seule opération
		toute les herbes mues par la prise de force		herse rotative à axe horizontal
				Tous les travaux en une opération
Travail de conservation du sol	Sans charrue avec cultivateur, chisel ou décompacteur à ailette			Séparé
		toutes les herbes mues par la prise de force	socs semeurs à disques	Réduit Préparation du lit de semences et lit en une seule opération
			surtout la herse rotative à axe horizontal	herse rotative à axe horizontal ou herse mue par la prise de force
				Une seule opération
Sans vibroculteur				Sans travail primaire du sol, préparation du lit de semences et semis en une opération
Sans travail du sol semis direct				Semis sans préparation du sol. De la ligne semée

Chapitre III
Technologie de
transformation du blé
dur

Chapitre III. Technologie de transformation du blé dur

La qualité d'un produit se traduit par la maîtrise du procédé de transformation, mais également des caractéristiques de la matière première agricole mise en œuvre (**Abecassis et al, 1990**).

Le blé dur est craqué en semoule pour être utilisé en pastification (spaghettis, macaroni, vermicelle, etc.) et la production du couscous. La farine est orientée vers la panification et l'alimentation domestique. (**Abecassis, 1991**).

III-1) La transformation du blé dur en semoule

La transformation du blé dur en semoule se déroule en trois étapes :

- **Le nettoyage** des blés, dont le but est d'éliminer les produits et graines contaminants ;
- **Le conditionnement** qui permet d'augmenter l'élasticité des enveloppes et d'accroître les différences de friabilité entre les tissus du grain
- **La mouture** proprement dite qui assure la séparation de l'albumen et des enveloppes et réduit l'albumen en fines particules (**Feillet , 2000**).

III-1-1- Le nettoyage de blé

C'est une étape très importante en semoulerie qui doit être réalisée avec efficacité (**Abecassis, 1987**).

L'opération de nettoyage est plus intensive. Le nettoyage du blé dur est crucial puisqu'il faut éliminer complètement toutes les graines étrangères, cailloux, ect., ce qui risque d'altérer l'apparence du produit fini, la semoule. (**Boudreau et Ménard, 1992**).

Selon **Godon (1998)**, les principaux objectifs de nettoyage sont :

- Enlever les graines noires et colorés pour limiter le nombre de piqures au minimum ;
- Enlever toutes les pierres afin d'éviter la présence de débris minéraux dans les semoules ;
- Eliminer les graines toxiques et nuisibles ;
- Enlever les insectes et les fragments d'insectes ;
- Réduire le nombre de contaminants microbiens.

III-1-2- Le conditionnement

Il consiste à apporter la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la teneur en eau souhaitée, de brasser énergiquement le blé et de le laisser au repos le temps voulu pour la migration correcte de l'eau à l'intérieur des graines (**Godon et Bérot. 1991**)

On procédera à une addition d'eau, suivie d'une période de repos, Généralement, la teneur en eau des grains est portée aux environs 16% et la durée du conditionnement varie de 5 à 6 heures. **(Boudreau et Ménard, 1992).**

L'objectif du conditionnement est d'assouplir le son et faciliter la séparation de l'amande du grain.

La régularité du taux d'humidité et du temps de repos sont à surveiller avec précaution. Un écart d'humidité du grain aussi faible que 0.2% à 0.3% suffit à provoquer des perturbations dans la mouture et, par conséquent, dans la qualité de la semoule. **(Boudreau et all, 1992).**

III-1-3) La mouture

Afin d'être utilisés pour la panification et dans d'autres produits alimentaires, les céréales sont transformés en farine et semoule par le biais du broyage (mouture) **(Rival, 2005)**.

L'objectif technologique de la mouture consiste à séparer l'amande farineuse du son et du germe, puis à réduire l'amande en farine. **(Bourson, 2009)**

Quel que soit le type de blé considéré le procédé de mouture implique les mêmes opérations unitaires **(Françoise et all, 2010)**

La mouture proprement dite est réalisée en combinant trois opérations unitaires :

- Le broyage et la dissociation des graines à l'aide de divers appareils à cylindres cannelés (broyeurs, desagregateurs) ou lisses (claqueurs, convertisseurs) qui appliquent sur les graines et les produits de moutures des actions de cisaillement ou de compression conduisant à la rupture du matériau ;
- Le classement granulométriques des produits de mouture, réalisé dans des plansichters et des bluteries pour extraire les fractions grossières (son) et la farine dans la mouture de blé tendre ;
- Le classement aérodynamique des particules de semoule réalisé dans le sasseur pour obtenir des semoules pures dans la mouture du blé dur **(Françoise et al, 2010).**

III-2) Les étapes de la mouture

III-2-1) Le broyage

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

L'opération de broyage a pour objectifs : (**Bourson, 2009**)

- la séparation de l'amande farineuse du son et du germe ;
- la séparation des refus et leur récupération : les gros refus (GR) devenant les gros sons (GS), les fins refus (FR) devenant les fins sons (FS) ;
- le blutage et la division des semoules ;
- l'extraction de la farine.

III-2-2) Le blutage (division)

Il consiste en un classement des semoules. L'opération de blutage que l'on appelle division a pour fonction de subdiviser le mélange de semoules en des classes de granulométrie homogène (**Abecassis, 1991**).

Elle s'effectue dans des plansichters, appareils formés d'un assemblage de tamis superposés et soumis à un mouvement rotatif et de va-et-vient permanent sous l'action d'un moteur excentrique (**Feillet, 2000**).

III-2-3) Le sassage

Il s'agit de l'épuration des semoules provenant des diviseurs, du blutage et de la réduction. Ils reçoivent en outre les semoules issues des désagrégeurs (**ABECASSIS, 1991**).

Le but est de séparer des produits de mouture sur la base de leur taille et de leur densité (double tri) (**Jintet et al, 2007**).

Selon **Feillet (2000)**, les semoules sont maintenues en suspension par un courant d'air ascendant au-dessus de tamis dont la largeur de mailles diminue au fur et à mesure de la progression des semoules. Celle-ci étant assurée par l'inclinaison et le mouvement de va-et-vient des tamis. La ségrégation des semoules repose sur leurs différences de densité et de propriétés aérodynamiques.

III-2-4) Désagrégage

C'est une opération qui consiste à fractionner les semoules vêtues (**Feillet, 2000**) son but est de rebroyer les semoules vêtues, d'éliminer les fragments de son qui adhèrent à l'amande (**Abecassis, 1991**).

III-2-5) Le convertissage

Ce sont des passages d'épuisement. Le convertissage est une opération secondaire en semoulerie. Elle a pour but de récupérer les farines basses à partir des produits résiduels contenant encore des traces d'amande, mais qui ne peuvent plus donner de semoules. Ce sont les seuls appareils qui, en semoulerie peuvent être munis de cylindres lisses (**Abecassis, 1991**).

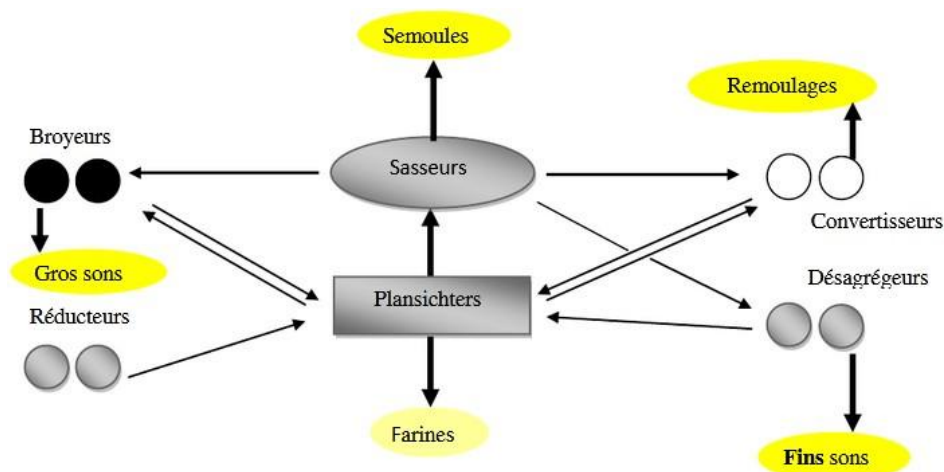


Figure 6. Diagramme de la mouture du blé dur (Abecassis, 1991)

III-3) Les produits finis

A l'issue de la mouture, trois principaux produits sont obtenus :

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

III-4) Définition de la semoule

Selon le *codex alimentarius* la semoule est définie comme étant « les produits obtenus à partir des grains de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Par procédés de mouture ou de broyage au cours desquels le son et le germe sont essentiellement éliminés, le reste étant broyé à un degré de finesse adéquat. La semoule complète de blé dur est préparée par procédé de broyage similaire, mais le son et une partie du germe sont préservés ».

III-5) Classification de semoule

Les semoules sont constituées de fragments, de taille plus ou moins fine de l'amande cassée de blé dur. Elles sont classées en fonction du diamètre des alvéoles des tamis qui les retiennent (Vierling, 2008).

En Algérie, trois types de semoule sont commercialisés et consommés:

- la semoule SE ou semoule extra aux particules fines. Elle est destinée à la fabrication des pâtes alimentaires industrielles (macaroni, spaghetti, rechta);
- la semoule SGM ou semoule moyenne. Elle est la plus utilisée par les ménages pour la fabrication des plats traditionnels comme le couscous la galette et les crêpes ;
- la grosse semoule destinée aussi pour la fabrication du couscous de type gros et de certains gâteaux comme le makrout.

III-6) Qualité technologique du blé dur

La qualité d'un blé dur est en fonction de l'utilisation que l'on en fait. Les produits fabriqués sont surtout les pâtes alimentaires (industries de deuxième transformation) et la semoule (industries de première transformation). La qualité implique donc à répondre à des critères nutritionnels, hygiéniques et organoleptiques (**Trenteseaux, 1995**).

On regroupe sous le terme de « qualité » ou de « valeur industrielle », ou encore de « valeur technologique » l'ensemble des caractéristiques du blé dur dont dépendent :

D'une part, le rendement en semoule d'une pureté déterminée, c'est-à-dire le poids de semoules fabriquées rapporté au poids de blé mis en oeuvre. On parle alors de valeur semoulière du blé dur.

D'autre part, l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs. On parle alors de valeur pastière (**Abecassis et Chaurand, 1997**).

III-6-1) La valeur semoulière

Celle-ci dépend en fait de trois groupes de facteurs (**Abecassis et Chaurand, 1997, Godon et Loisel, 1997**).

➤ Les facteurs extrinsèques

Ces facteurs sont très liés aux conditions de cultures et de récolte. Leur influence sur la valeur semoulière est évidente et il en est d'ailleurs régulièrement tenu compte dans les transactions commerciales. Entrent dans cette catégorie :

La teneur en eau du grain que l'on souhaite la plus faible possible ; elle est généralement comprise entre 10 et 16%.

Le taux d'impuretés, le plus souvent égal à 2 ou 3%.

Le taux et la grosseur des grains cassés qu'il est parfois impossible de séparer d'autres impuretés au cours du nettoyage.

➤ **Les facteurs intrinsèques**

Ces facteurs englobent plusieurs caractéristiques qui dépendent exclusivement de la nature du blé mis en œuvre. Dans ce cas la valeur semoulière dépend :

-Du rapport albumen/enveloppes : Ce rapport dépend de l'épaisseur des enveloppes, de la forme du grain et de son degré d'échaudage. D'une manière générale, on considère que la proportion d'enveloppes et d'autant plus grande que le poids du grain est petit.

-De la friabilité de l'albumen qui détermine les rendements relatifs en semoule et farine. Plus l'amande est vitreuse et dure, moins elle aura tendance à se réduire en farine, alors qu'un grain fortement mitadiné dont l'amande est farineuse et friable, aura tendance à se désagréger en produits très fins au détriment du rendement en semoules (**Abecassis et Chaurand, 1997, Godon et Loisel, 1997**).

Un grain est vitreux lorsque la structure de son amande a un aspect translucide. Cela est dû à une compacité élevée entre les constituants de l'amande (granules d'amidon "cimenté" par les protéines). Il est donc important de contrôler le pourcentage de grains mitadinés, car il apporte une indication directe sur la valeur semoulière (**Desclaux, 2005**).

-De la facilité de séparation de l'albumen et des enveloppes qui traduit la difficulté rencontrée par le semoulier pour « épuiser » convenablement les sons. Une liaison trop intime entre l'albumen et les couches périphériques du grain aura pour effet de diminuer le rendement semoulier ou d'augmenter la présence de piqûres dans les semoules.

➤ **Les facteurs réglementaires**

Le taux de cendres (matière minérale)

Le dernier facteur de la valeur semoulière est essentiellement réglementaire, il s'agit de la richesse en matière minérales. Compte tenu de ce que l'albumen amylicé est beaucoup moins minéralisé que les enveloppes et la couche à aleurone, il est communément admis qu'il est possible de déterminer la pureté et le taux d'extraction des semoules en mesurant leur teneur en matières minérales.

La valeur semoulière d'un lot de blé dur rend compte de son potentiel de rendement en semoule et de la pureté de ses produits. Elle dépend d'un grand nombre de facteurs qui déterminent le comportement des blés durs en mouture (**abecassis et all, 2011**).

II-6-2) Valeur boulangère

La valeur boulangère ou valeur en panification est définie par **Calvel. (1984)** : la valeur boulangère représente les aptitudes d'un blé ou d'une farine à donner du beau et du bon pain.

Ces aptitudes dépendent de deux groupes de facteurs:

- La force du blé: cette force est caractérisée par les propriétés plastiques de la pâte, ces propriétés sont en relation étroite avec la quantité et la qualité du gluten.
- L'activité fermentative de la pâte qui est fonction de la richesse en sucre des farines et l'équilibre enzymatique.

La valeur boulangère fait apparaître des notions distinctes :

Le rendement en pâte, la tolérance au pétrissage, la machinabilité de la pâte, le développement de la pâte et du pain ainsi que la qualité organoleptique de la mie du pain.

III-6-3) La valeur pastière

La qualité pastière des blés durs rend compte de leur aptitude à être transformés en semoules puis en pâtes alimentaires qui possèdent les caractéristiques recherchées : aspect à l'état cru, comportement durant et après la cuisson (**Feillet, 2000**). Elle regroupe deux aspects principaux :

Qualité visuelle :

Les pâtes de couleur jaune ambrée et qui ne représentent pas de piqûres sont à rechercher. Les grains mouchetés présentent des taches brunes à noirâtres sur les enveloppes, au niveau du germe et/ou le sillon, causées par des champignons (*Fusarium. Alternaria.*). Ces zones colorées se retrouvent en partie sous forme de piqûres noires après mouture, dans la semoule et puis dans les pâtes alimentaires entraînant une dépréciation de la valeur commerciale de ces produits.

Qualité culinaire :

Elle recouvre plusieurs facteurs dont la tenue des pâtes avant et après cuisson et la texture des produits cuits (fermeté, élasticité. l'état de surface). La qualité culinaire est fortement dépendante des caractéristiques plastiques du blé mis en oeuvre, mais elle est influencée par le processus industriel utilisé (pétrissage et séchage en pâtes alimentaires). (**Boubkeur, 2005**).

Tableau VII. Caractéristiques de quelques variétés du blé dur (ITGC, 2013)

Variétés	Principales caractéristiques agronomiques et technologiques
Vitron (Hoggar)	Tolérance au froid, à la verse à l'helminthosporiose. Très bonne valeur semoulière, indice de jaune faible, teneur en protéine suffisante, qualité pâtissière moyenne, les pâtes ne supportent pas la surcuisson
Waha « S »	Tolérance au froid, à la rouille à la septoriose. Sensible à la sécheresse, aux gelées et au piétin-verse. Bonne valeur semoulière, indice de jaune variable, teneur en protéine suffisante. Qualité pâtissière médiocre, les pâtes ne supportent pas la surcuisson (pâte très collante, de mauvaise qualité mais d'un blé aspect).
Chen « S »	Tolérance à la sécheresse, à la verse à la rouille, bonne productivité, Bonne valeur semoulière, indice de jaune variable, indice de brun un peu élevé. Teneur élevée en protéine, tenue à la cuisson acceptable des pâtes, supporte peu la surcuisson.
Mohamed ben bachir	Tolérance à la sécheresse et au mitadinage, sensible à la verse, à la septoriose, à la fusariose et au céphe des chaumes. . Très bonne valeur semoulière, indice de jaune faible, , indice de brun un peu élevé, teneur en protéine élevée, bonne qualité des protéines, bonne qualité semoulière et couscoussière.
Hedba 3	Tolérance au froid et à la sécheresse, sensible aux rouilles, septoriose et oïdium. Bonne valeur semoulière, indice de jaune faible, teneur en protéine élevée, qualité pâtissière médiocre.
Gta dur	Tolérance à la verse, à la rouille brune et à l'oïdium, productivité moyenne à bonne.
INRTA 69 (Sebaou)	Peu sensible à la verse, tolérance aux maladies et résistante au mitadinage et à la moucheture. valeur semoulière satisfaisante, Teneur élevée en protéine, qualité semoulière et couscoussière médiocre.
Siemto (Sersou)	Sensible à la sècheresse et tolérance à la verse. Bonne valeur semoulière, faible indice de jaune, indice de brun un peu élevé. Teneur satisfaisante en protéine de très bonne qualité.
Ofanto (Ouarsnin)	Tolérance à la sécheresse et à la verse. Bonne valeur semoulière et , teneur en protéine satisfaisante.
Boussalem	Résistante au froid, à la verse et à la sécheresse. Résistante aux maladies (aux rouilles jaune, brune et noire), au piétin échaudage, à l'oïdium et à la fusariose. Bonne productivité, Bonne qualité semoulière (blé correcteur) et résistante au mitadinage.

Chapitre IV

Technologie

de panification

Chapitre IV: Technologie de panification

Le pain est un aliment consommé dans le monde entier: en 2010, 9000000 tonnes ont été produites sur l'ensemble du globe (Cho & Peterson, 2010) , il fait partie de l'alimentation humaine depuis plusieurs millénaires. Sa forme, sa composition et les procédés de panification ont beaucoup évolué jusqu'à aujourd'hui. Pendant très longtemps, le pain a été fabriqué à partir de levain, mélange de farine et d'eau que l'on laissait fermenter à partir de la flore endogène naturellement présente. Certaines recettes utilisées dans l'Egypte antique révèlent que le levain pouvait également être préparé par ensemencement de la pâte avec de la bière. (Fould-Springer, 1988)

De nos jours, le pain est un produit présent sur tous les continents, sous des formes très diverses. Il peut être obtenu à partir de farine de blé, de seigle, d'orge et/ou d'autres céréales. (Aibi, 2015)

IV-1) Caractéristiques de la panification du blé dur

Plusieurs caractéristiques définissent la qualité de la farine pour la fabrication du pain et différencient la farine du blé dur de celle du blé tendre. On a principalement : la dimension des particules et la teneur en amidon endommagé; l'absorption de l'eau; la qualité des protéines et du gluten ; la stabilité de la pâte ; l'activité et le contenu amylolytique et la teneur en maltose (Quaglia, 1988).

IV -1-1) Dimension des particules et teneur en amidon endommagé

La farine de blé dur utilisée dans la fabrication du pain peut être obtenue par la mouture des grains de blé dur ou le broyage de la semoule de blé dur. Le taux de cendre de la farine entière après broyage peut arriver jusqu'à 1,35-1,60%. Après des opérations de purification successives le taux de cendre obtenu est de 0,9-1,2%. Les farines de blé dur avec un rendement de 75% ont une teneur en cendres supérieure à 0.9% (Quaglia, 1988).

La mouture peut augmenter le taux de l'amidon endommagé et affecter de ce fait les caractéristiques de la farine. Bien que des dommages modérés d'amidon puissent être bénéfiques, des dommages excessifs sont indésirables.

La taille des granules de farine peut jouer un rôle dans la qualité du produit fini. Une farine très fine peut contenir plus d'amidon endommagé. L'amidon endommagé absorbe plus d'eau que l'amidon endogène. La granulométrie devrait s'étendre de 120 à 190µm.

L'utilisation de la farine broyée trop finement, avec une grande quantité d'amidon endommagé, peut mener à un volume plus bas du pain, une mie humide et pas assez cuite, et une couleur foncée de la croûte (Quaglia,1988).

IV- 1-2) Absorption de l'eau

L'absorption de l'eau de la farine de blé dur est beaucoup plus élevée que celle de la farine de blé tendre; en outre, la farine de blé dur a une absorption très lente. Ces différentes caractéristiques limitent également la possibilité d'obtenir des pâtes des mélanges de blé dur et de blé tendre parce que la pâte contiendra de la farine pas complètement hydratée et/ou de la farine qui a déjà atteint le stade rhéologique optimal.

La farine de blé dur a une capacité de liaison d'eau plus élevée que celle du blé tendre, ce qui explique une altération plus lente et une durée de conservation par conséquent plus longue du pain de blé dur. La capacité de liaison d'eau est apparemment liée à la teneur en protéines. Ce rapport, cependant, n'est pas linéaire.

IV -1-3) Protéines et qualité du gluten

La farine de blé dur est caractérisée en général par une teneur relativement plus élevée en protéines et en gluten que la farine de blé tendre. La qualité de fabrication du pain et la valeur nutritive du produit fini sont habituellement corrélées avec la teneur en protéines. Pour que la farine de blé dur convienne à la fabrication du pain, sa teneur en protéines devrait être plus élevée que 13

La qualité du gluten peut être facilement évaluée par la méthode de Berliner basée sur l'activité protéolytique d'une solution standard d'acide lactique sur le gluten pré-extrait.

L'alvéographe Chopin offre une autre méthode pour évaluer la qualité de la farine de blé dur. Les alvéogrammes des farines de blé dur indiquent une ténacité très élevée (p) et une élasticité faible (L). En conséquence, le rapport de P/L est plus de 1,5 et le travail correspondant à la déformation de l'échantillon de la pâte (w) est environ 200.

Tous ces résultats analytiques prouvent que le gluten de la farine de blé dur semble être très tenace et pas très élastique (**Quaglia, 1988**).

IV -1-4) Stabilité de la pâte

La stabilité de la pâte est importante parce que quand la pâte atteint le degré de fermentation optimale, elle peut demeurer sans changement pour un certain temps ou s'effondrer et passer à son état critique de fermentation. En particulier quand des temps de travail importants sont exigés, une farine avec une tolérance élevée de fermentation est préférée c'est le cas du blé dur en raison de son contenu élevé de gluten et de sa ténacité (**Quaglia, 1988**).

Le degré de tolérance d'une farine peut être jugé par le degré de se ramollir qui est obtenu à partir de l'analyse farinographique et qui peut être augmenté en mélangeant des farines de blé dur et de blé tendre ou par l'utilisation des améliorants.

IV -1-5) Couleur du pain de blé dur

Pour le blé dur, la couleur jaune représente, avec le goût et la durée de conservation, l'indice fondamental de la qualité et de la valeur marchande du pain du blé dur. Une telle couleur est fournie par les pigments caroténoïdes présents dans le blé dur et par conséquent dans sa farine.

Le degré de la couleur jaune dépend principalement de la teneur en pigment, il est également influencé par le diagramme de mouture, le taux d'extraction, et peut être aussi des colorants dérivés des impuretés du grain de blé dur (**Quaglia, 1988**).

Plusieurs facteurs régissent la concentration des pigments de blé, y compris la variété (caractéristiques variétales héréditaires, principalement le nombre de chromosomes) la composition du sol, le type d'engrais.

La couleur jaune de la farine de blé dur est partiellement perdue pendant le pétrissage de la pâte en raison d'un processus complexe d'oxydation des caroténoïdes. Cette réaction est provoquée en partie par l'action d'une enzyme, lipoxydase ou lipoxygénase, qui décomposent les caroténoïdes (**Faubion et Hosney, 1981**).

IV) La panification

IV-1) Le procédé de panification

IV -1-1) Les ingrédients

La farine : La farine de blé est la farine la plus utilisée dans la fabrication du pain.

L'amidon est composé de deux types de polysaccharides, dont l'unité constitutive est le glucose : l'amylose (linéaire) et l'amylopectine (hautement ramifié) (**Buléon et all, 1998**). L'amylose est un élément structurel essentiel du pain et impacte directement sa fermeté à cause de ses capacités rapides de rétrogradation (passage d'un état amorphe à un état cristallin) (**Goesaert et al., 2005**).

Les autres constituants de la farine ont un impact moindre sur la structure finale du produit. La farine contient également quelques molécules volatiles qui sont retrouvées dans la composition aromatique finale du pain, comme l'hexanal, l'heptanal, le pentanal et l'heptanol (**Pico, Bernal, & Gómez, 2015**)

L'eau : L'eau ajoutée provoque le gonflement des grains d'amidon et aide à la formation du réseau glutineux (**Landgraf, 2002**).

Le sel : Le sel a une influence positive sur la qualité physique des pâtes en améliorant la ténacité, la couleur de la croûte et évidemment le goût (**Rival, 2005**). Il ralentit l'activité de la levure par inhibition des activités enzymatiques, Il a aussi tendance à limiter la disponibilité de l'eau et donc améliore l'aptitude à la conservation (**Ndangui, 2015**).

La levure : La levure est un ingrédient essentiel de la panification, car elle permet non seulement de faire lever la pâte, mais aussi de générer des composés volatils contribuant à l'arôme final du pain (**Jourdren, 2017**). Le dégagement de gaz carbonique, qui accompagne la fermentation, permet de faire lever la pâte en lui conférant une texture légère. On utilise également *Saccharomyces cerevisiae* (levure de boulangerie) (**COFALEC, 2006**).

Tableau VIII Fonctions des principaux composants utilisés dans le pain (**Doerry, 1995**)

Composant	Fonction	Description
Farine	Structure	<ol style="list-style-type: none"> 1. La protéine (la gliadine et la glutenine) + l'eau forment un matériel visco-élastique (le gluten) pour retenir le gaz qui est formé par la fermentation du sucre et contribuent à la formation de la structure de la pâte à pain. 2. L'amidon + l'eau + la chaleur forment une pâte visqueuse qui fixe le gel après cuisson. Lors du stockage, l'amidon cristallise (rétrograde) et contribue au raffermissement (majeure partie du rancissement) du pain. 3. La teneur en protéines de la farine du pain est 11-13% (sur une teneur en humidité de 14%).
Eau	Hydratation	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'eau hydrate la protéine pour former le gluten. 2. L'eau hydrate les parois des cellules des polysaccharides non amylacés de la farine (pentosanes) et endommage les granules d'amidon. 3. L'eau sert de solvant, d'agent de dispersion et de moyen pour la production des réactions chimiques et biochimiques. 4. L'eau aide à la mobilité de la pâte.
Levure	Levage	<ol style="list-style-type: none"> 1. Les levures produisent du CO₂ et de l'éthanol par fermentation des sucres fermentables. 2. Les levures conditionnent biochimiquement la pâte. 3. Les levures forment les précurseurs du goût. 4. Le taux de fermentation est contrôlé par la température, l'apport de nutriments, le niveau d'eau, le pH, la concentration en sucre, le sel, et le niveau et le type de levure.
Sel	Exhausteur du Goût	<ol style="list-style-type: none"> 1. Le sel aide à contrôler la fermentation. 2. Le sel durcit la pâte en interaction avec le gluten. 3. Le sel étend le développement de la pâte (l'addition tardive du sel dans le mélange de la pâte diminue le temps de mélange en 10-20%).
Nourriture minérale des levures	Contrôle de la fermentation	<ol style="list-style-type: none"> 1. La nourriture minérale des levures est un conditionneur de l'eau (p.e. sels de calcium). 2. La nourriture minérale des levures est un conditionneur des levures (p.e. sels d'ammonium). 3. La nourriture minérale des levures est un conditionneur de la pâte à pain (p.e. des agents oxydants).

Sucre	Source énergétique pour les levures	<ol style="list-style-type: none"> 1. Le sucre contribue à la fermentation des carbohydrates. 2. Le sucre est impliqué dans la saveur (les sucres résiduels) et dans la fermentation des sous-produits. Le sucre est un composant de type Maillard au cours de la cuisson. 3. Le sucre est présent dans la couleur de la croûte qui résulte de la caramélisation (sucre + chaleur) et du brunissement non enzymatique (le sucre réducteur + un groupe amine de protéines, les acides aminés, etc.).
Matière grasse	Lubrification	<ol style="list-style-type: none"> 1. La matière grasse facilite l'expansion des bulles de gaz de la pâte. 2. La matière grasse lubrifie les lames de tranches au cours du découpage du pain. 3. La matière grasse prolonge la durée de vie des produits panifiés. 4. La matière grasse attendrit la croûte du pain.
Produits laitiers	Nutrition et amélioration de la couleur de la croûte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Les produits laitiers fournissent de la protéine (haute en lysine) et du calcium. 2. Les produits laitiers améliorent la saveur des produits panifiés. 3. Les produits laitiers sont impliqués dans la couleur de la croûte (réaction de brunissement et caramélisation). 4. Les produits laitiers ont un effet tampon dans la pâte et leurs liquides fermentés.

IV -1-2) Les étapes de panification

IV -1-2-1) Le pétrissage: C'est le processus le plus important, il est considéré comme l'étape clé permettant la fabrication d'une pâte lisse, homogène, tenace, et viscoélastique (**Millar, 2006**), Il assure le mélange des différents constituants de la farine et, par son action mécanique, de créer des liaisons physico-chimiques entre les différents constituants (**Dupin, 1992**).

Par l'action mécanique, le pétrissage a 3 fonctions (**Bloksma, 1990**)

- l'homogénéisation de la pâte, par mélange avec de l'eau qui conduit un milieu divisé (la farine) à un milieu macroscopiquement homogène (la pâte) ;
- le développement de la pâte : les protéines s'associent et forment le réseau de gluten, ce qui conduit à des propriétés rhéologiques permettant une bonne rétention gazeuse ;
- l'incorporation d'air qui forme les noyaux des cellules gazeuses par brassage de la pâte.

Les conditions de pétrissage sont à prendre en considération. En effet, le pétrissage doit être rapide, homogène et à température contrôlée, on obtient ainsi une pâte avec des cellules de gaz dont le diamètre est compris entre 1 et 10 mm. Le nombre et la taille des bulles de gaz ont un effet significatif sur les caractéristiques finales du produit (**Giannou et al. 2003**).

IV -1-2-2) La fermentation ou pointage : c'est la première fermentation qui se situe entre la fin du pétrissage et l'opération de façonnage, elle se déroule à une température 25°C ; en pratique, la fermentation commence dès que la levure est au contact de la farine

et de l'eau et se poursuit jusqu'aux premières minutes de cuisson (**Bourgeois et Larpent, 1992**).

Le rôle de la fermentation est d'enrichir la pâte en dioxyde de carbone (**Chargelegue et al., 1994**) qui sera par la suite retenu par le réseau glutineux. Le pouvoir fermentatif dépend de plusieurs facteurs : nombre de cellules de levure et la quantité de sucre (**Autio Et Sinda 1992**)

Au cours de processus de fermentation et en absence d'oxygène, les micro-organismes naturellement présents dans la farine ou apportés sous forme de levure de panification dégradent les sucres contenus dans la farine pour produire de l'énergie, l'alcool et du gaz carbonique (**Bremaud, 2006**), ce gaz emprisonné dans les réseaux élastiques et continu de gluten aère et fait gonfler la pâte. (**Dupin, 1992**)

La fermentation s'effectue au cours de deux étapes, le pointage et l'apprêt, qui peuvent durer d'une à plusieurs heures. (**Pico et al., 2015**).

IV -1-2-3) La cuisson : La cuisson consiste à fixer la structure de la pâte, préalablement établie au cours du pétrissage et la fermentation, par leur exposition à une haute température (**Balaji, 1991**).

La cuisson a pour objectif de générer les caractéristiques structurelles et aromatiques finales du pain. Le pain est généralement cuit entre 200°C et 220°C pendant 15 à 30 min suivant la taille des pâtons. En début de cuisson, le volume du pain augmente, en raison (i) de l'expansion des gaz et (ii) de la production de dioxyde de carbone par les levures jusqu'à leur inactivation à partir de 55°C (**Fould Springer, 1988**)

Au cours de cette étape se produit une série de transformations physiques, chimiques et biochimiques telles que l'expansion du produit, la perte d'eau par évaporation, la formation d'une structure alvéolaire plus ou moins développée, la dénaturation des protéines, la gélatinisation de l'amidon, la formation d'une croûte et les réactions de coloration (**Sablani et al, 1998**).

Durant la cuisson la pâte s'étend encore et son volume relatif augmente de 4-5 à 5-7 fois (**Marston et Wannan 1983**). L'augmentation du volume est due à la forte activité de la levure qui continue à produire du CO₂ jusqu'à son inactivation à 50 °C, et à l'alcool produit qui s'évapore à 60 °C (**Bloksma 1990**)

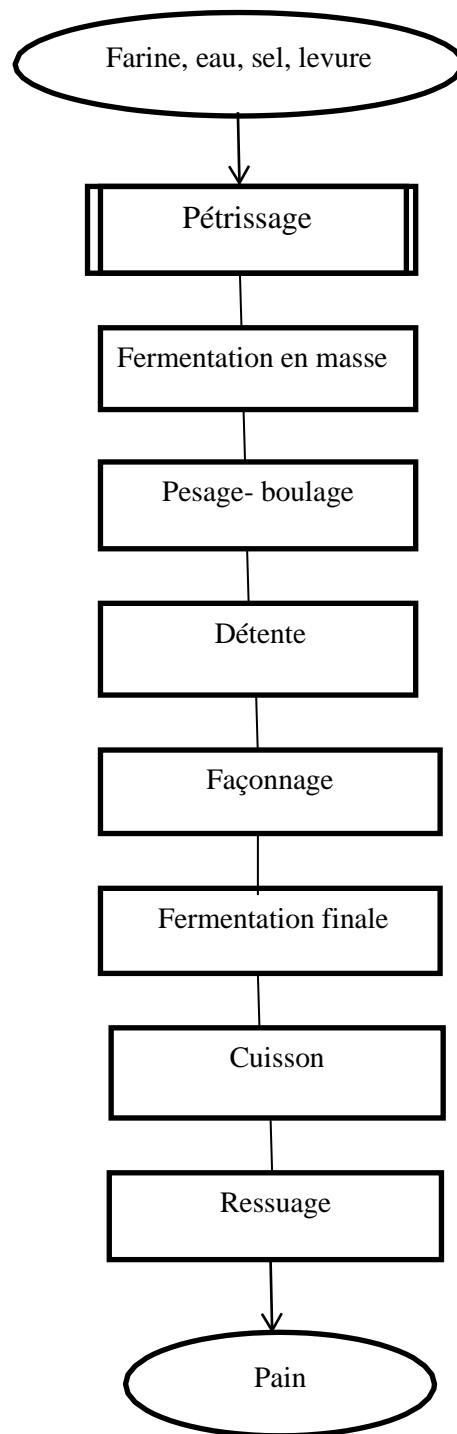


Figure 7. Etapes de la fabrication du pain (Garcia, 2005)

VI-2) Caractères organoleptiques

Les propriétés sensorielles du pain constituent un défi qui nécessite une meilleure compréhension des mécanismes de formation de la structure et de la texture finale (Lampignano et al.,2013). Il est bien connu que les propriétés sensorielles du pain sont liées fortement aux ingrédients utilisés lors de la fabrication, affectant ainsi le choix des consommateurs.

Différentes techniques ont été développées pour l'évaluation sensorielle des pains telle que le système de classement des produits par notation qui présente la technique la plus utilisée et qui a été normalisé en 2002 par la norme AFNOR (NF V03-716). La technique consiste à fabriquer les pains dans des conditions constantes et à présenter les échantillons à un panel de dégustation. Des notes spécifiques sont attribuées pour chaque critère d'évaluation, elles qui reflètent les appréciations sensorielles des dégustateurs, elles sont utilisées par la suite et pondérées pour calculer une note globale pour chaque attribut (goût, arôme, couleur, acceptabilité globale, etc.) (Shehzad, 2010).

Chapitre V

Matériel et

méthodes

Chapitre V: Matériel et méthodes

V-1) Matériel végétal

L'étude a été faite sur une seule variété de blé dur « Bousselam » qui provient de la station expérimentale de l'ITGC de Sétif. Le blé a subi deux méthodes de cultures différentes, semis directe et travail conventionnel.

V-2) Analyses physicochimiques des grains

V-2-1) Poids de mille grains

Le poids de mille grains est un paramètre physique qui renseigne sur la dimension des grains et leurs calibres (**Godon, 1991**).

Il doit être effectué conformément à la norme NA.730.1991, ISO 520. C'est la masse de 1000 grains entiers exprimé en grammes. Le comptage des grains a été effectué manuellement.

V-2-2) La teneur en eau

La teneur en eau est la perte de masse, exprimée en pourcentage, subie par le produit dans les conditions décrites dans la présente méthode. (**JORA, 2013**). Elle est intéressante pour la détermination et la conduite des opérations de récolte, de séchage, de stockage ou de transformation industrielle.

La teneur en eau est déterminé par séchage de 5 grammes du produits (grains broyé, semoule) dans une étuve à une température de 130 C° pendant deux heures (Norme AFNOR 03-707).

Expression des résultats : Selon la formule

$$H (\%) = [(M1 - M2) / (M1 - M0)] \times 100$$

Avec,

- ✓ **H**. Teneur en eau.
- ✓ **M1**. La masse de la prise d'essais + la vase métallique (avant séchage).
- ✓ **M0**. La masse de la vase métallique (capsule).
- ✓ **M2**. La masse de la prise d'essai + la vase métallique (après séchage).

V-2-3) Taux de mitadinage

C'est une anomalie constatée sur les grains de blé dur qui devient farineux par une modification de la structure de l'albumen provoquée par un manque d'azote au stade gonflement. Le taux de mitadin exprimé en pourcentage (%), indique le nombre de grains partiellement ou entièrement farineux dans un lot de grains S'il est trop élevé, le rendement

semoulier chute. La détermination est faite sur 300 grains, selon la méthode du Farinotome de POHL.

Le taux de mitadinage doit être effectué selon la méthode normalisée AFNOR V03.705.1981.

Expression des résultats :

$$M=(nx100) / p$$

- ✓ **M**: le pourcentage de grains mitadinés dans la fraction examinée.
- ✓ **n**: le nombre de grains mitadinés dans la fraction examinée.
- ✓ **p**: le nombre de grains examinés au farinotome.

V-2-4) Détermination de la moucheture

C'est la présence sur les grains de tache brun ou noire plus au moins grandes causé par le développement de certains champignons, toutes les variétés n'ont pas le même degré de sensibilité à ce dommage.

La détermination se fait selon la méthode de BIPEA, norme ISO 7970. Elle s'effectue sur 20g de blé propre par appréciation visuelle, seuls sont considéré comme mouchetés les grains présentant à des endroits autre que le germe, des colorations situés entre le brun et le noire brunâtre.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en pourcentage, selon la formule :

$$M (\%) = (M1/M2) \times 100$$

Avec,

- **M1**: Masse en gramme de grain entier Mouchetés présent dans 20g de l'échantillon.
- **M2**: Masse en gramme de prélèvement 20g.

V -3) Transformations des grains en semoule**V-3-1) Le nettoyage du blé**

Le but du nettoyage des blés est d'éliminer par tamisage et triage à la main, les produits et graines contaminants qui nuisent à la qualité des semoules.

Les grains de blé ont été débarrassés de toutes leurs impuretés : graines étrangères, graines d'autres céréales, pailles, pierres, pièces métalliques, déchets d'animaux (rongeurs, insectes). Les blés mal venus sont également éliminés (grains échaudés, ergotés et **fusariés**).

V-3-2) Conditionnement

Il permet d'augmenter l'élasticité des enveloppes et d'accroître les différences de friabilité entre les tissus du grain. Le conditionnement a été réalisé dans un mélangeur CHOPIN. Le blé subit d'abord, un pré-conditionnement à 14% d'humidité pendant 24 heures, ensuite un conditionnement à 17 % deux heures avant la mouture, afin d'avoir une meilleure séparation du son et de l'amande et faciliter le broyage de celle-ci.

Un blé humide est difficile à travailler et à bluter cependant, un blé trop sec se prête mal à la séparation des enveloppes (réduites en fines particules) du cœur de l'albumen.

V-3-3) Mouture

La mouture est l'opération centrale de la transformation des blés durs en semoules. Elle a été faite à l'aide du moulin BRABENDER JUNIOR. Le produit obtenu (semoule sassée) a fait l'objet des tests physiques, technologiques et chimiques.

V-3-4) Taux d'extraction

C'est le rendement en semoule c'est-à-dire le poids de semoule obtenu, rapporté à la quantité de blé mis en œuvre .

$$TE = (m1/m2) \times 100$$

Avec,

- ✓ m1= quantité de semoule obtenue ;
- ✓ m2= quantité du blé mise en œuvre.

V-4) Analyses de semoule**V-4-1) Indice de coloration**

Il s'agit d'apprécier la couleur de la semoule qui se caractérise par deux composantes l'indice de jaune et l'indice de brun à l'aide d'un colorimètre standard ; les résultats sont exprimé dans le système L, a, b dans les conditions retenus par la commission internationale de l'éclaircissement (CIE) dont :

Indice de brun (IB)= 100-L ;

Indice de jaune (IJ)= b

Avec ;

- ✓ L= lecture à la longueur d'onde 550nm ;
- ✓ B= lecture à la longueur d'onde 480nm.

V-4-2) Analyses technologiques

V-4-2-1) Teneur en gluten

L'extraction du gluten est effectuée suivant la méthode normalisée NA 735-1991 , ISO 5531.

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

✓ La teneur en gluten humide (GH)

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

✓ La teneur en gluten sec (GS)

Le gluten sec est obtenu par séchage à 160°C du gluten humide dans une plaque chauffante durant 4 mn jusqu'à l'élimination totale de l'eau ; puis on pèse le gluten sec obtenu.

La teneur en gluten sec est exprimée en % de matière sèche.

Expression des résultats

Gluten humide :

La teneur en gluten humide (%) :

$$GH = M1 \times 10$$

- **M1**: masse du gluten humide (g) dans la prise d'essai.

Gluten sec :

La teneur en gluten sec (%) :

$$GS = M2 \times 10$$

- **M2** : masse du gluten sec (g)

Le gluten index

Centrifuger la masse de gluten obtenue à 6000Tr /min. la partie du gluten restant sur la filière (gluten résiduel) est ensuite retirée et peser avec la partie ayant traversé la filière de façon à connaître le poids total de gluten.

$$GI = Gr/Gt \times 100$$

Ou

- **GI**= gluten index.

- Gr= gluten résiduel
- Gt= gluten total

V-4-2-2) Capacité d'hydratation

Elle s'exprime en pourcentage selon la formule suivante :

$$\text{C.H (\%)} = \text{GH-GS} / \text{GH} \times 100 (\%)$$

Avec ;

- C.H : la capacité d'hydratation
- GH : gluten humide
- Gs : gluten sec.

V-4-2-3) Test de sédimentation

Ce test est un moyen indirect d'appréciation de la force d'un blé (Godon . et Loizel , 1997) Il permet d'estimer la qualité des protéines d'un petit échantillon de semoule, par formation d'agrégats suite au gonflement des protéines dans un milieu à base d'acide lactique et de SDS (sodium- dodecyl sulfate).

Le test de sédimentation dans le sodium dodecyl sulfate (SDS) est réalisé selon la méthode proposé par Axford et al., (1978).

Une quantité de 5 g de semoule sont mis en suspension avec 60 ml d'eau distillée dans une éprouvette graduée de 100 ml. Une agitation manuelle est effectuée pendant 15 secondes aux temps 0, 2, 4 et 6mn. Immédiatement après la dernière agitation, on ajoute 50 ml d'une solution contenant (20g/l de SDS et 20 ml /l d'acide lactique dilué au 1/8). Après une alternance d'agitation et de temps de repos de l'éprouvette, on lit le volume du sédiment obtenu dans l'éprouvette après un repos de 20 mn, les résultats sont exprimés en ml.

V-5) Test de Panification NF V 03-716

La méthode de panification utilisée est celle d'AFNOR. La présente norme décrit un essai de panification, applicable aux farines de blé tendre préparées en vue de la panification de type français, afin de vérifier leur aptitude à cette utilisation, de prévoir les qualités des pains obtenus au niveau artisanal ou industriel, et de relever les caractéristiques expérimentales permettant d'adapter le ou les diagrammes de fabrication appropriés à ces farines.

V-5-1) Principe

Obtention d'une pâte par pétrissage intensifié de semoule, d'eau, de levure, de sel, suivi d'une fermentation en cuve de 20 minutes, d'un façonnage mécanique ou manuel, puis d'un apprêt sur couche, incision des pâtons par des coups de lame puis mise au four et cuisson à 260°C pendant 20 minutes.

V-5-2) Ingrédients

- ✓ **Semoule** : elle est issue de la mouture d'essai.
- ✓ **L'eau**: elle doit être potable, elle sera portée à une température telle qu'en fin de pétrissage, la pâte obtenue soit à une température de 25°C plus ou moins 1°C
- ✓ **Levure**: levure sèche active.
- ✓ **Sel**: sel fin ordinaire Chlorure de Sodium.

V-5-3) Mode opératoire**V-5-3-1) Masse de semoule nécessaire à l'essai**

Pour pouvoir déterminer la masse de semoule nécessaire à la panification, il faut déterminer préalablement la teneur en eau selon la norme **NF V03-707**. Cette masse correspond à 1500 g et 2000g à 15% de teneur en eau.

V-5-3-2) Pétrissage

Après la détermination de la quantité de semoule, elle sera introduite dans le pétrin, ajouter de la levure 2.2% ainsi que la quantité d'eau nécessaire (60%) et faire démarrer le pétrin. Le temps de pétrissage dépend du type de pétrin utilisé, il varie de 21 à 25 minutes et s'effectue en deux périodes successives à vitesse différentes.

Le sel est incorporé 5 minutes avant la fin du pétrissage (2.2%).

Une fois le temps de pétrissage est écoulé, arrêter le pétrin et vérifier à l'aide d'un thermomètre la température de la pâte qui doit être 25°C plus ou moins 1°C.

L'ajustement de la température de la pâte à 25°C \pm 1°C s'obtient en intervenant sur la température de l'eau qui sera déterminée en fonction de la température de base fixée par le constructeur du pétrin.

En fin de pétrissage, procéder à l'appréciation de la pâte en choisissant un des six paramètres d'évaluation figurant sur la grille.

Pâte: lissage, collant de la pâte, consistance, extensibilité, élasticité et relâchement.

V-5-3-3) Pointage

Placer la cuve contenant la pâte dans la chambre de fermentation pendant 45 minutes.

Procéder à l'appréciation de la pâte en choisissant un des objectifs et un seul pour les caractéristiques : pousse en cuve et relâchement.

V-5-3-4) Division, boulage et détente

La pâte est divisée en pâtons de 250g puis bouler à la main et laissée au repos pendant 15 min.

V-5-3-5) Façonnage

Après le temps de repos, procéder au façonnage des pâtons pour obtenir la forme d'une baguette et les déposer sur une plaque.

Les caractéristiques à noter dans cette étape sont: allongement, déchirement, élasticité et collant de la pâte.

V-5-3-6) Apprêt (2ème fermentation)

La plaque contenant les pâtons est introduite dans une chambre de fermentation pendant 1 heure. A la fin de cette étape, on note les caractéristiques: activité fermentative et le déchirement.

V-5-3-7) Scarification et cuisson

Entailler les pâtons de 3 coups de lame, noter les caractéristiques collant de la pâte et déchirement puis enfourner aussitôt dans le four chauffé préalablement à 260°C et saturé de vapeur d'eau pendant 20 minutes.

Après cuisson complète, retirer les pains et les laisser refroidir 1 heure puis procéder à l'appréciation du pain et de la mie.

Les paramètres d'appréciation du pain sont: Le volume du pain, la section, couleur, épaisseur, croustillant et coup de lame (développement, régularité et déchirement).

Pour la mie les paramètres appréciés sont:

La couleur, texture (souplesse), élasticité, collant, alvéolage (régularité) épaisseur et flaveur.

La somme des observations appréciées présentés dans la grille de notation constitue la note finale de cette valeur boulangère qui est exprimé sur 300 points (Annexe 10,11,12), et qui est divisée en:

- Note de pâte sur 100 points;
- Note de pains sur 100 points;
- Note de mie sur 100 points.

Le caractère normal ou satisfaisant pour une observation sera noté dans la case 10. Un défaut est à considérer soit par insuffisance, soit par excès. L'intensité de défaut se qualifie à trois niveaux et il est noté comme suit :

- Défaut peu intense = 7
- Défaut intense = 4
- Défaut très intense = 1

V-6) Analyses statistiques

L'analyse de la variance (ANOVA) des résultats obtenus a été effectuée à l'aide du logiciel STATISTICA.

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

- **P < 0,001** la différence entre les traitements est très hautement significative
- **P < 0,01** la différence entre les traitements est hautement significative
- **P < 0,05** la différence entre les traitements est significative
- **P > 0,05** la différence entre les traitements est non significative

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

Chapitre VI

Résultats

et discussions

VI) Résultats et discussions

VI-1) Analyses physicochimiques des grains

VI-1-1) Poids de mille grains

La Figure 8 illustre les valeurs relatives au PMG .

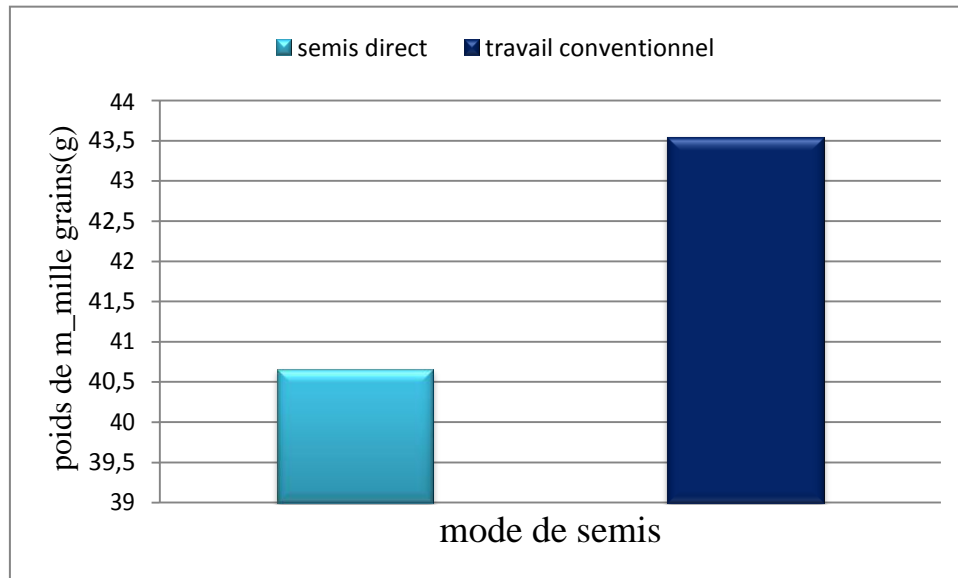


Figure 8. Poids de mille grains de deux modes de travail du sol

L'analyse statistique de la variance (ANOVA) révèle une différence significative ($p < 0,05$) entre le semis direct et le semis conventionnel pour le paramètre poids de mille grains. Ce dernier chez le semis conventionnel, est supérieur à celui obtenu par le semis direct avec un écart estimé à 2.66g.

Le PMG est un facteur important de la valeur semoulière du blé dur. En effet, les gros grains donnent de meilleurs rendements en semoule (**Matsuo et Dexter, 1980. Lempereur et al, 1997**).

VI-1-2) Teneur en eau

La Figure 9 représente les résultats relatifs à la teneur en eau.

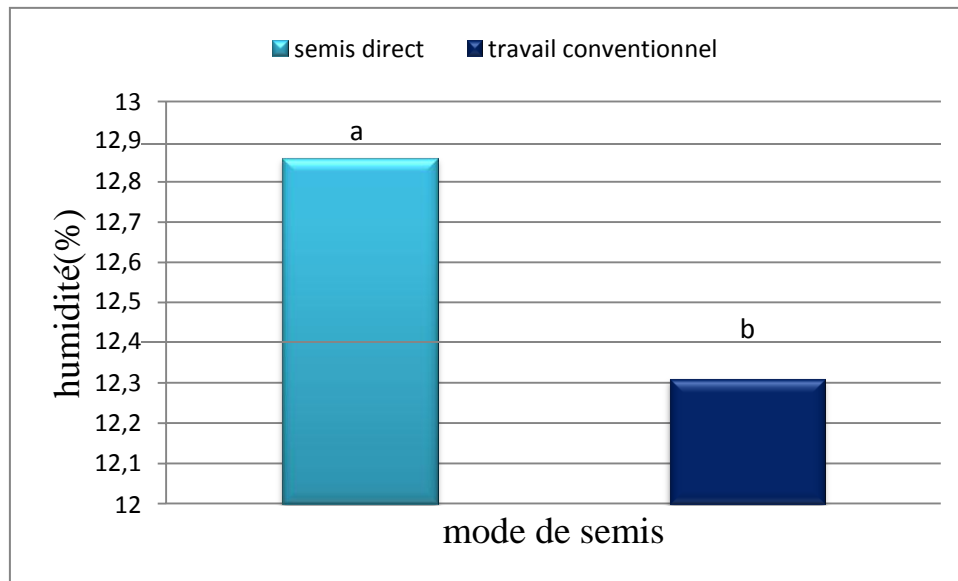


Figure 9. Taux d'humidité des grains de deux modes de travail du sol.

Le taux d'humidité est de **12.86%** et **12.31%** respectivement pour le **S.D** et **T.C**. L'analyse statistique de la variance révèle une différence hautement significative entre le semis direct et le travail conventionnel pour le paramètre humidité des grains broyés ($p < 0.05$). Selon (**Feillet, 2000**), en semoulerie, lors du conditionnement le blé dur doit conserver une certaine dureté de l'amande qui se fait par la création d'un gradient d'eau entre l'enveloppe et l'amande pour assurer une meilleure séparation, ce qui explique la réduction de la teneur en eau des produits de mouture.

VI-1-3) Le taux de mitadinage

Les résultats relatifs au taux de mitadinage sont représentés dans la Figure 10.

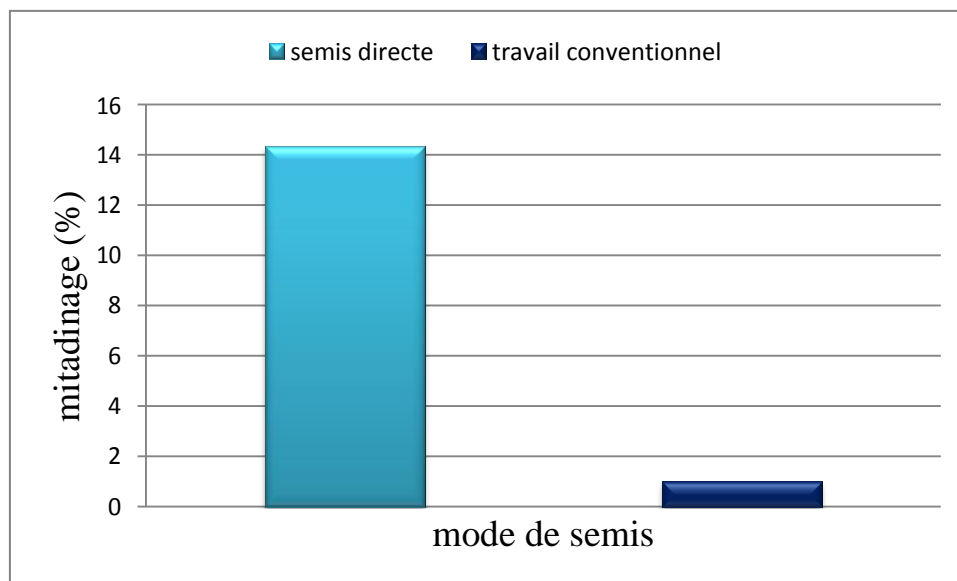


Figure 10. Taux de mitadinage des deux modes de travail du sol

L'analyse statistique indique une différence significative entre le semis direct et le semis conventionnel pour le paramètre mitadinage des grains (p -value <0.05). Le mitadinage enregistré chez le semis conventionnel **1%** est nettement inférieur à celui affiché par le semis direct **14.33%** par un écart estimé à 40 grains dans une prise d'essai de 300 grains qui est statistiquement significative. Cette différence est peut être expliquée par une fertilisation azotée insuffisante en semis direct ce qui a augmenté le taux de mitadinage. En effet au cours du remplissage des grains, si la matière protéique est a été produite en quantité suffisante, l'albumen prendra un aspect vitreux qui est le cas du blé issu du travail du sol.

Cependant, un taux de mitadinage élevé, fortement corrélé à une faible teneur en protéines, exerce un effet défavorable sur la qualité culinaire des produits finis (**Feillet, 2000**).

VI-1-4) Taux de la moucheture

Pour l'ensemble des blés analysés des deux types de semis, le taux de moucheture est de **0%**.

VI-2) Le taux d'extraction

Les résultats concernant le taux d'extraction sont présentés dans la Figure 11.

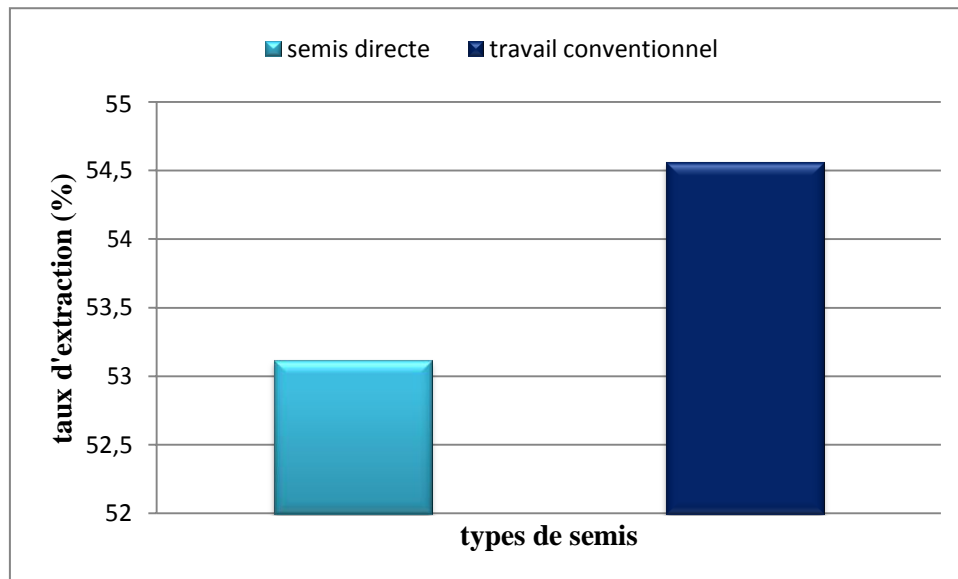


Figure 11. Taux d'extraction pour les deux types de travail du sol

Ce paramètre nous renseigne sur les rendements en semoule. Les résultats nous montrent que ce taux d'extraction se situe entre **53.12 %** pour le S.D et **54.56%** pour le T.C.

On constate que le rendement est presque le même pour les deux méthodes de culture avec une légère hausse enregistré chez le T.C expliqué par la grosseur des grains (PMG élevé).

VI-3) Analyses des semoules

VI-3-1) Taux d'humidité des semoules

Les résultats relatifs aux taux d'humidité sont présentés dans la figure 12.

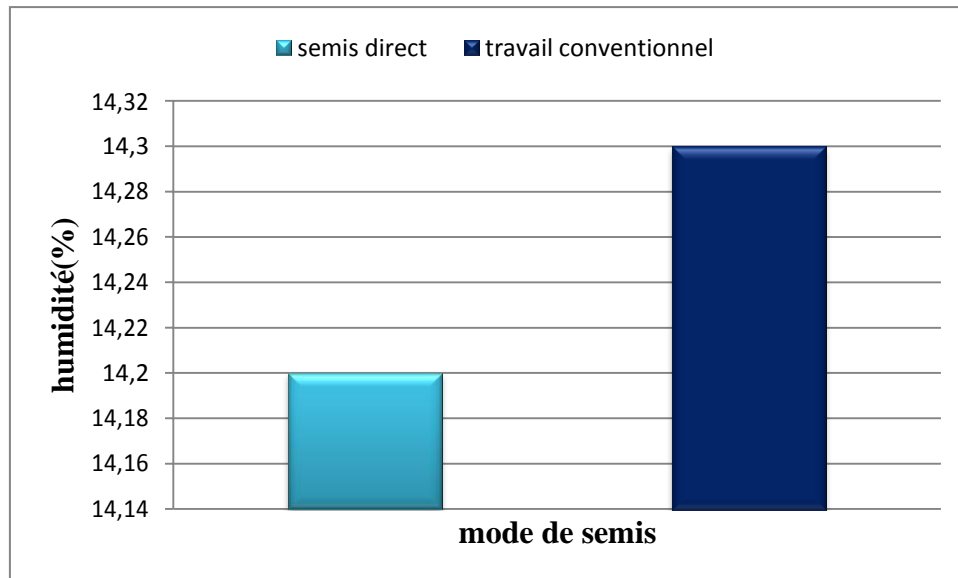


Figure 12. Humidité de la semoule des grains de blé dur des deux modes de travail du sol.

L'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative de la teneur en eau de la semoule issue de la mouture de blé dur semis direct (**14.2%**) et de la semoule issue de la mouture de blé dur travail conventionnel **14.3%**.

VI-3-2) Indice de coloration

VI-3-2-1) Indice de jaune

Les résultats obtenus concernant l'indice de jaune sont représentés par la Figure 13

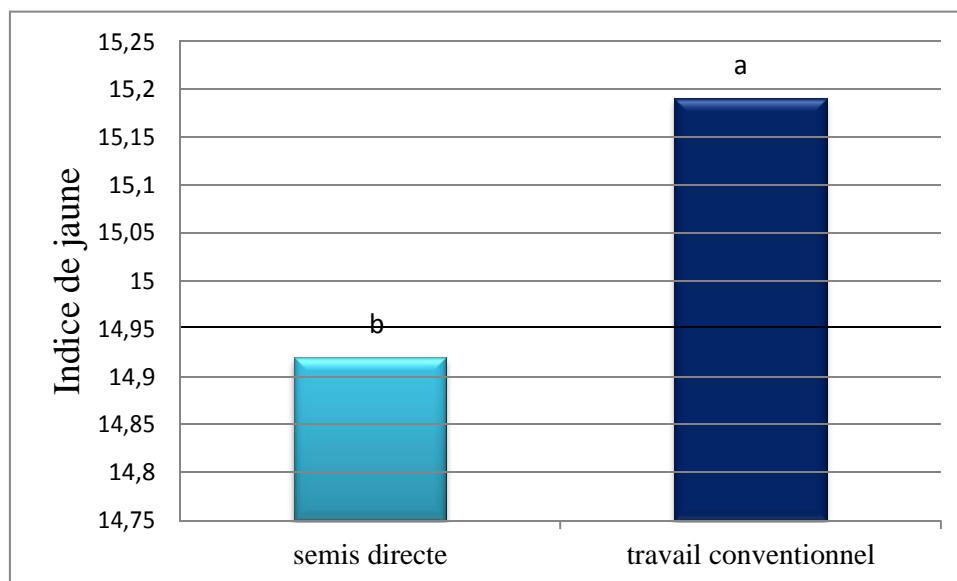


Figure 13. Indice de jaune du blé dur des deux modes de travail du sol.

La couleur jaune est en fonction de la teneur en pigments caroténoïdes et de l'activité de la lipoxygénase de l'albumen (**Feillet et al., 2000**). Plus un blé (semoule ou pâte) contient de protéines, pour une variété considérée, plus la quantité de pigments jaunes ou l'indice b est élevée. La quantité de pigments jaunes est une caractéristique variétale importante (**Trentesaux, 1992**).

Les valeurs de l'indice de jaune de blé dur étudiées varient respectivement entre **14,92** et **15,19** pour la semoule de S.D et la semoule de T.C. L'analyse de la variance montre une différence significative entre le semis direct et le travail conventionnel pour le paramètre indice de jaune (p-valeu <0.05) .

En se référant à l'échelle de classement donnée par **Houliaropoulos et al. 1981**, (**tab IX**), on remarque que les valeurs de l'indice de jaune des semoules des deux modes de semis sont toutes faibles.

Les faibles indices de jaunes obtenus pourraient être liés au taux d'extraction des semoules, ou encore au taux de protéines contenues dans ces dernières. En effet, d'après **Trentesaux 1995**, plus le taux d'extraction d'une semoule est important, plus la quantité des « pigments

Jaunes » extractibles est élevée et moins bonne sera la clarté de la pâte qui en est issue. Aussi, plus un blé (ou une semoule ou pâte) contient des protéines, pour une variété considérée, plus la quantité de « pigments jaunes » est élevée.

Tableau IX: Echelle de classement des indices colorimétriques selon **Houliaropoulos et al , 1981**.

Indice de jaune(b)	Elevé > 35	Moyen 28-35	Faible < 28
Indice de brun(100-l)	Elevé >21	Moyen 18-21	faible <18

VI-3-2--2) Indice de brun

Les résultats de l'indice de brun sont illustrés par la figure 14.

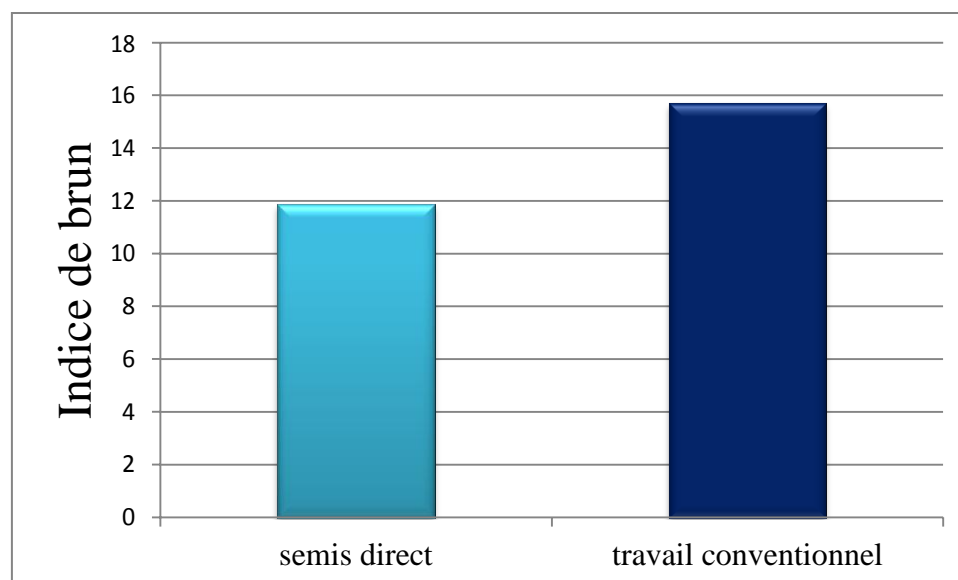


Figure 14. Indice de brun du blé dur des deux modes de travail du sol.

Les valeurs de l'indice de brun (IB), sont comprises entre **11.87** pour la semoule issue de **S.D** et **15.70** pour la semoule issue de **T.C**. L'indice de brun a révélé une différence très hautement significative ($p < 0.001$) entre le semis direct et le semis conventionnel.

D'après l'échelle de classement de **Houliaropoulos et al , 1981**, les semoules extraites ont de faibles indices de brun en particulier la semoule de S.D, Selon **Feillet ,1974**, la valeur optimale pour cet indice de couleur, ne doit pas dépasser les 12 % qui est le cas chez la semoule de **S.D**.

VI-3-3) Les analyses technologiques

VI-3-3-1) Gluten humide

Les résultats du taux des glutens humides des semoules sont représentés par la figure 15.

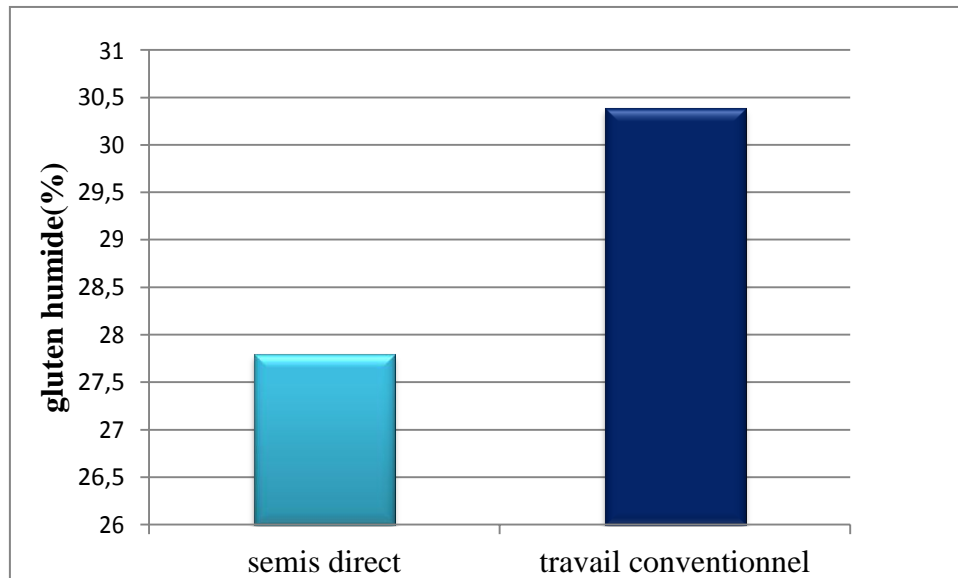


Figure 15. Gluten humide des semoules des deux modes de travail du sol

Des teneurs en gluten humide de **27.79%** et **30.38%** ont été enregistrées respectivement pour le S.D et T.C, L'analyse statistique pour ce paramètre indique un effet significatif entre le semis direct et le semis conventionnel ($p < 0.05$).

Selon **Godon (1991)**, ces valeurs sont relativement faibles, car la teneur en gluten humide doit être comprise entre 33 et 34%.

La qualité du gluten agit sur la fixation de l'eau, la tenue, la résistance et la tenue de la pâte, la rétention gazeuse, la croûte de pain qui sont tous des paramètres déterminants dans la panification. (**Roussel et Chiron, 2005**).

VI-3-3-2) Le gluten sec

Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 16.

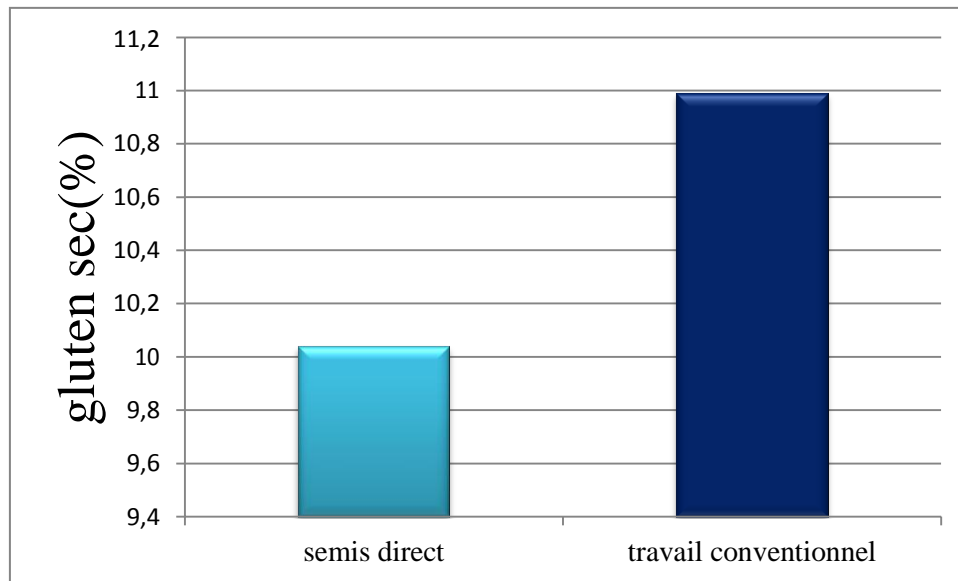


Figure 16. Gluten sec des semoules des deux modes de travail du sol.

La teneur en gluten sec est de **10.04%** pour la semoule de **S.D** et **10.99%** pour celle de **T.C**. D'après l'analyse statistique de la variance, les résultats montrent qu'il n'y a pas une différence significative entre le semis direct et le semis conventionnel pour ce paramètre ($p > .05$).

Selon **D'Egidio et al ,1979**, les semoules ayant des teneurs en gluten sec supérieures à 13% peuvent fournir un excellent produit fini, tandis que pour celles dont les valeurs sont inférieures à 11% sont de qualité insuffisante.

VI-3-3-3) Gluten index

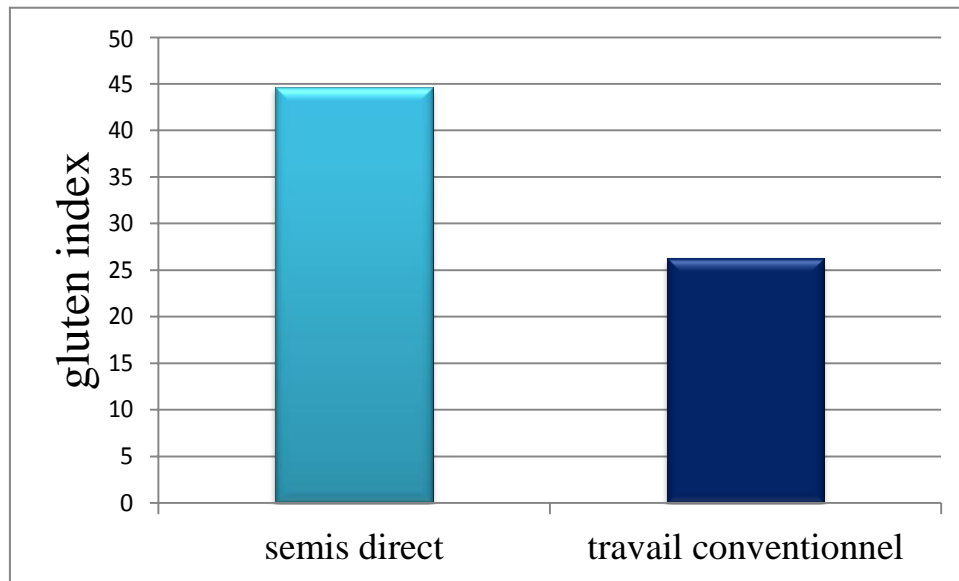


Figure 17. Gluten index des semoules deux types de travail du sol.

L'analyse de la variance indique une différence significative entre le semis directe et le semis conventionnel pour le paramètre ($p < 0.05$) avec **44.66%** pour le **S.D** et **26.29%** pour le **T.C** .

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.

Gluten index compris entre 90 et 100% ms : gluten résistant et élastique.

En se référant à cette classification, on estime que le gluten des semoules des deux types de semis a une valeur technologique faible,

VI-3-3-4) Capacité d'hydratation

La figure 18 représente la capacité d'hydratation des semoules des deux modes de semis.

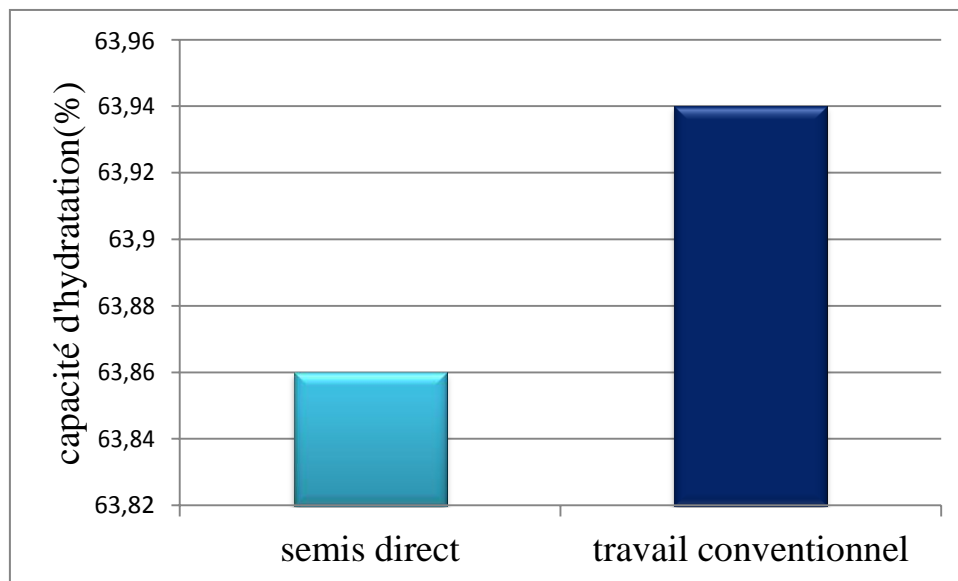


Figure 18. Capacité d'hydratation des semoules des deux modes de travail du sol.

Les résultats obtenus montrent que la capacité d'hydratation du gluten varie entre **63.86%** (semis direct) et **63.94%** (travail conventionnel).

Pour le paramètre capacité d'hydratation, l'analyse statistique de la variance ne montre aucune différence significative entre le semis directe et le semis conventionnel ($p > 0.05$). Selon **Godon (1991)**, la composition du gluten lui permet de fixer deux à trois fois son poids en eau.

VI-3-3-5) Test de sédimentation

Les résultats de l'analyse du test S.D.S de sédimentation sont illustrés par la figure 19.

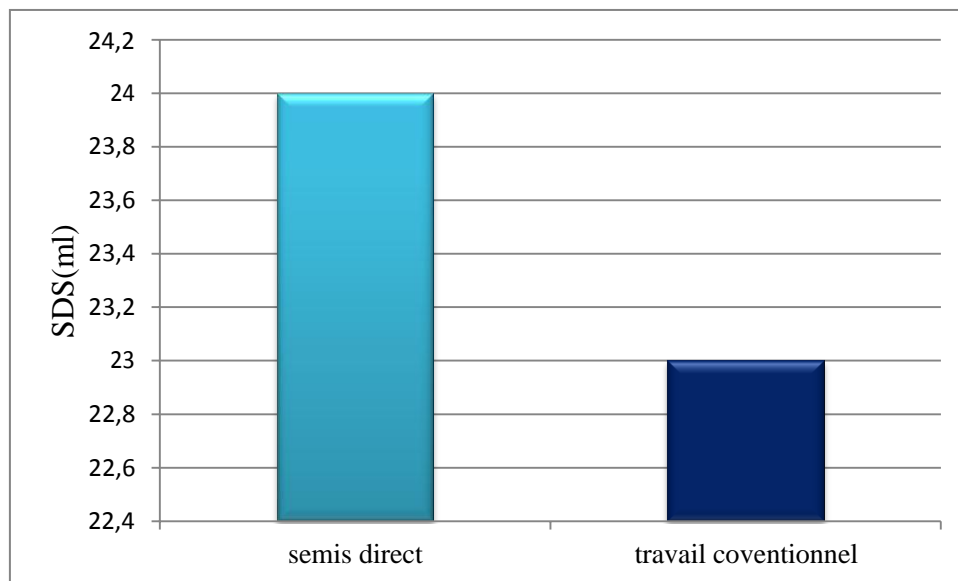


Figure 19. Test de sédimentation SDS de blé dur des deux types de travail du sol.

L'indice de sédimentation des deux types de travail du sol montre une légère différence entre la semoule de S.D avec **24ml** et celle du T.C avec **23ml** ;

Royo et al., (2009), ont classé les variétés de 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 ≥ 35 ml indique un gluten fort. Les faibles valeurs de SDS seraient dues à la faible quantité de la fraction gluténine.

VI-4) Test de panification

1. Appréciation de la pâte

La pâte est appréciée en la caractérisant par le choix d'un adjectif pour chaque critère observé et sur plusieurs étapes.

1.1 Pétrissage et pointage

Les résultats montrent que les pâtes issues de S.D et du T.C présentent un aspect collant avec un bon lissage.

Ceci est peut être expliqué par la qualité de leurs glutens. **Calvel (1980)**, indique qu'un bon gluten doit donner des pâtes sèches, non collantes, de fortes ténacités et qui absorbent plus d'eau. De plus, **Dubois (1996)** a expliqué que le caractère collant est lié principalement au taux d'hydratation qui dépend de la qualité et la quantité des protéines.

Nous constatons que les pâtes des semoules de blé dur issues des deux modes de travail du sol (semis direct et travail conventionnel) se présentent avec une extensibilité insuffisante. Concernant l'élasticité, la pâte du travail conventionnel est peu élastique contrairement à la pâte de semis direct qui montre une bonne élasticité.

L'élasticité de la pâte est principalement due à la capacité des protéines du gluten à former des agrégats de haut poids moléculaire. La nature, les propriétés et la quantité de ces agrégats dépendent des caractéristiques et des quantités des sous-unités gluténines de haut poids moléculaire et des sous-unités gluténines de faible poids moléculaire. Les liaisons covalentes, disulfures en particulier, y jouent un rôle essentiel (**Feillet et al, 1994**).

Nous remarquons également que les deux pâtes ont un relâchement en excès.

Durant le pointage (1^{er} fermentation) les deux pâtes présentent un relâchement excessif.

La viscosité de la pâte dépend davantage de la teneur en eau, de la teneur en lipides et de la quantité de liaisons réversibles (hydrogènes, hydrophobes, ioniques) liant les constituants entre eux. Celles-ci favorisent en effet des glissements moléculaires et donc la viscosité du milieu (**Feillet et al, 1994**).

1.2 Façonnage et apprêt

Pour les deux types de travail du sol (S.D et T.C) l'extensibilité se présente en excès, et il n'y a pas un déchirement des pâtes.

Les observations effectuées montrent que la pâte de semis direct présente une élasticité normale par rapport à la pâte de semis conventionnel qui a une élasticité insuffisante (**voir annexe**)

Après la deuxième fermentation les pâtes de semis direct ont une activité fermentative normale contrairement à la pâte de T.C qui se présente en insuffisance.

La forme des pâtons reste ronde et la pâte non déchirée pour les deux modes de travail du sol .



Figure 20. Les étapes de panification (S.D)



Figure 21. Les étapes de panification (T.C)

1 : 1ere fermentation ; 2 : boulage ; 3 : façonnage ; 4 : 2eme fermentation ; 5 : scarification ; 6 : défournement.

2. Appréciation du pain

2.1 Masse et volume du pain

Les résultats relatifs au poids du pain sont représentés dans la Figure 22

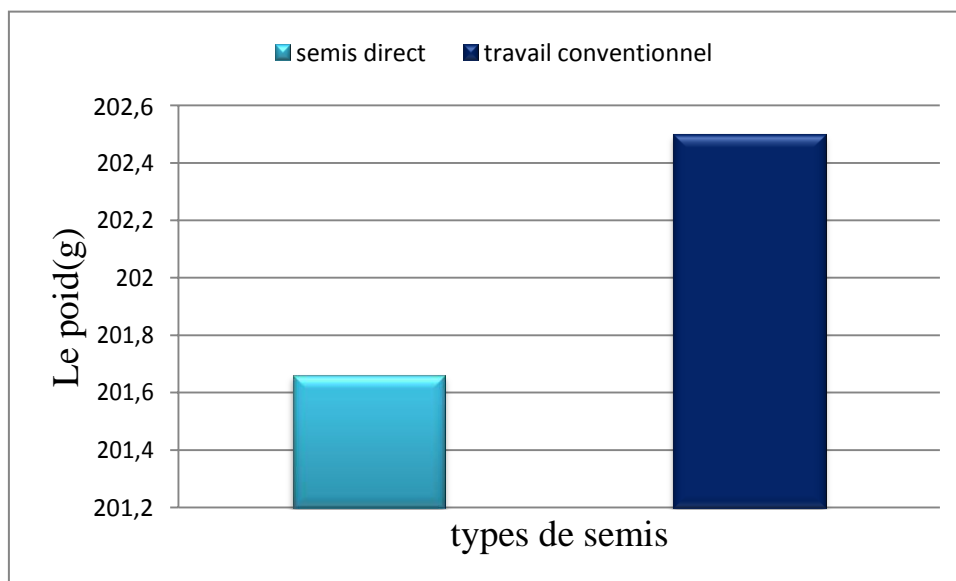


Figure 22. Poids du pain

Les pains issus du blé de S.D ont des masses qui varient entre **200g** et **205 g** avec une moyenne de **201.6g**. Quant aux pains issus du blé dur issu du travail conventionnel ont des masse varient entre **195g** et **205g**, avec une moyenne de **202.5g**.

La valeur maximale du volume spécifique du pain a été enregistrée chez le pain préparé des semoules de blé semis direct avec **21.67 cm³** et la valeur minimale a été enregistrée chez le pain de T.C avec **15.18 cm³**. Cette différence est probablement due à la teneur et à la qualité des protéines cumulées au cours de la formation des grains. Ce qui confirmerait que les conditions de développement du blé influent sur la composition chimique du grain.

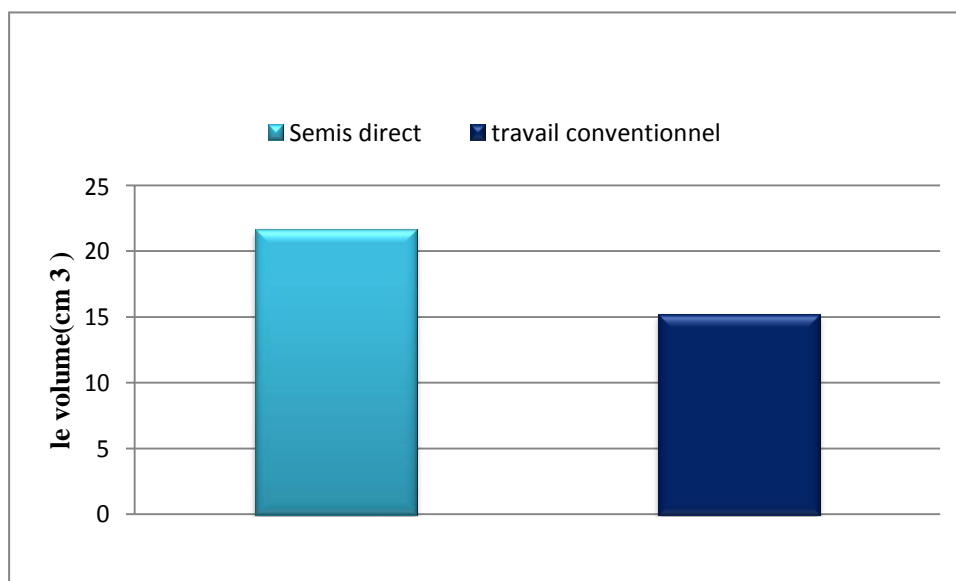


Figure 23. Volume du pain préparé des semoules à base des deux modes de travail du sol.

Bushuk (1985) a rapporté que le volume du pain varie avec la composition chimique (surtout protéique) quantitative et qualitative de la farine. De plus, **Singh et al. (1990)**, rapportent que le volume du pain est proportionnel à la quantité et la qualité des gluténines, en particulier, les gluténines de hauts poids moléculaires dans lesquelles les réactions d'oxydations et les ponts dissulfures exercent une action importante sur les propriétés viscoélastiques des pâtes qui déterminent un meilleur gonflement des pâtes et des pains bien expansés.

2.2 Aspect du pain

Le pain préparés à base de semoule de semis direct montre une section normale (ni anordie ni aplaté), La couleur du pain est rouge et brillante, avec une épaisseur normale. La croûte est normale (ni fine ni épaisse) et croustillante (normale), des coups de lames réguliers avec déchirement normale mais un développement insuffisant.

Le pain issus de la semoule de travail conventionnel présente une section normale légèrement aplatie, la couleur du pain est rouge et brillante, avec une épaisseur insuffisante, la croûte est moins épaisse et peu croustillante, des coups de lame moins régulier, le développement insuffisant avec un déchirement normale.



Figure 24. Aspect du pain des deux modes du travail du sol

2.3 Appréciation de la mie

Les observations montrent que la mie de nos pains était de couleur crème qui vire au blanc pour les deux types de travail du sol.

La texture était souple pour le pain préparé de la semoule du blé de S.D, quant à la texture de mie du T.C est élastique et non collante pour tous les pains avec un alvéolage régulier.

La flaveur se présente en insuffisance dans le pain de semis directe par rapport au pain du travail conventionnel qui est en excès.



Figure 25. Aspect de la mie des deux modes de travail du sol.

3 Valeur boulangère

La Figure 26 représente les résultats relatifs à la valeur boulangère

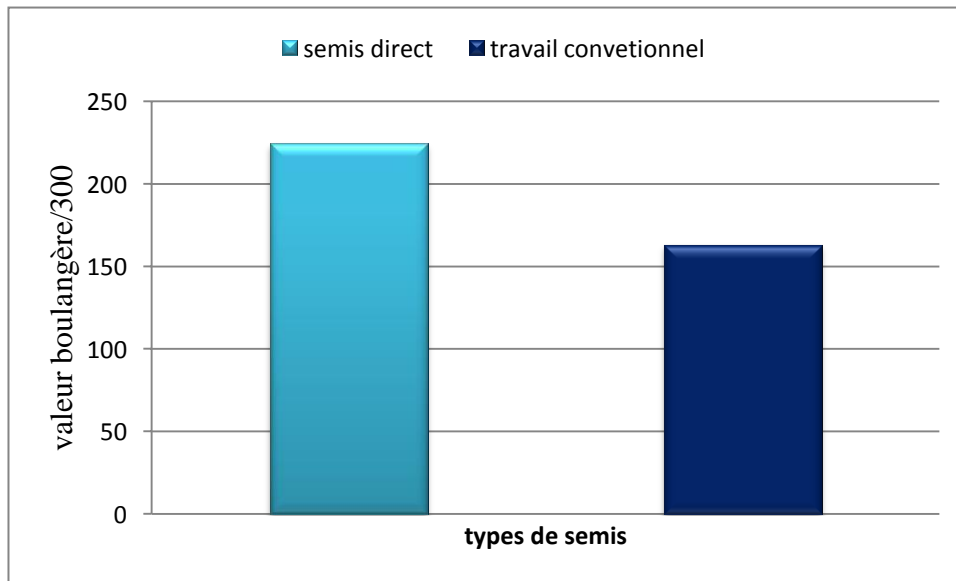


Figure 26. Valeur boulangère de semoules obtenues sous différents modes de semis

Les résultats obtenus indiquent que la semoule issue du T.C possède la valeur la plus faible avec **162.93/ 300** point par rapport à la semoule de S.D **224.31/300**.

Feillet (2000) rapporte qu'une note de panification comprise entre 120 et 160 signifie que la semoule est passable, entre 160 et 200 assez bonne et une note comprise entre 200 et 240 c'est une semoule bonne pour la panification. Par projection sur nos résultats, on constate que la semoule issue du blé de semis direct est qualifiée comme une semoule bonne alors que la semoule issue du blé travail conventionnel est qualifiée comme assez bonne.

Conclusion

Conclusion

Notre objectif en réalisant ce travail est d'étudier l'effet de deux modes de semis, semis direct et travail conventionnel sur la qualité du blé dur de la variété Bousselam.

A travers les analyses physicochimiques et technologiques que nous avons effectuées sur les semoules, les conclusions auxquelles nous avons pu aboutir sont les suivantes:

- Un effet significatif du mode de semis sur le PMG dont le meilleur poids des grains est enregistré chez le travail conventionnel avec **40.66g** par rapport à au semis direct **43.55g**.
- Une différence significative entre le semis direct et le semis conventionnel pour le parametre mitadinage des grains, Le taux de mitadinage le plus élevé est enregistré chez le semis direct avec une valeur de **14.33%**.
- Le faible taux d'extraction des deux semoules, **53.12 %** pour le S.D et **54.56%** pour le T.C explique les valeurs de l'indice de jaune **14.92** pour le S.D et **15.19** T.C qui sont très faibles et qui révèlent une différence significative entre les deux modes de travail du sol.
- Une différence très hautement significative de l'indice de brun qui est très faible notamment pour la semoule de travail conventionnel **15.70** par rapport au semis direct qui est acceptable **11.87**.
- Les résultats obtenus du gluten humide, sec et index présentent des valeurs très faibles ce qui signifie que le blé issu des deux modes de semis a une valeur technologique faible.
- Pour le test de panification, le pain issu du blé cultivé sous un travail du sol conventionnel a un poids légèrement plus élevé (**202.5g**) par rapport à celui du mode semis direct (**201.6g**), tandis que la valeur boulangère est meilleure chez le semis direct (**224.31/300**) par rapport au travail conventionnel (**162.93/ 300**) ce qui signifie que le semis direct a une bonne aptitude à la panification par rapport au travail conventionnel.

En perspective : l'étude doit être complétée par :

- ✓ des essais sur plusieurs années pour confirmer nos résultats ;
- ✓ Elargir la gamme variétale.

Références Bibliographiques

Références bibliographique

- **Abdellaoui .Z, Zaghouane .O, Houassine D, 2006.** Quelles perspectives pour l'agriculture de conservation dans les zones céréalières en conditions algériennes? Options Méditerranéennes, Série A n° 69. pp183-187.
- **Abdellaoui .Z, Teskrat H., Belhadj A., Zaghouane. O.2011.** Étude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide.
- **Houliaropoulos. E, Abecassis .J et Autran J.C. 1981** « Produits de mouture du blé dur : Coloration et caractéristiques culinaires », Ind. Céréales. 12,3-13, pp: 13-18.
- **Abecassis. J., 1987.** La mouture d'essai du blé dur : Recherche et applications industrielles. Mémoire d'ingénieur. Ed. Ecole nationale supérieure de meunerie et des industries céréalières.158p.
- **Abecassis. J, Gautier M.F, Autran J.C, 1990.** La filière blé dur : pâtes alimentaires. Industrie Agroalimentaires : 475-482.
- **Abecassis. J, 1991.** La mouture du blé dur. In, les industries de première transformation des céréales. (in GODON B. et WILLM C.).Ed. Tec et Doc- Apria :362-39.
- **AIBI. (2015). *Bread Market Report 2013*.**international association of plant bakers.
- **Ammar.M. (2014)** Organisation de la chaine logistique dans la filière céréales en Algérie
- états des lieux et perspective. thèse de doctorat de CIHEAM Montpellier : p17-20
- **Angar H, Ben-Hammouda. M, Ben Haj Salah .H, 2010.** Semis direct et semis conventionnel en Tunisie: Les résultats agronomiques de 10 ans de comparaison. Inactes des 4eme rencontres méditerranéenne du semis direct Sétif (Algérie), 3-5 mai 2010. Recherche Agronomique, numéro spécial. pp 9-13
- **Atares P ,2006.** Semis direct dans la vallée moyenne de l'Ebre.
- **Autio .K, Sinda E. (1992).** Frozen doughs *in* Rheological changes and yeast viability. Cereal Chem.. vol.413 p
- **Balaji.N, 1991.** Modelling of transient temperature distribution during bread baking by finite difference analysis. B.Tech Thesis, IIT, Kharagpur, India.
- **Bencharif.A, Chaulet.C, Chehat.F, Kaci.M, Sahil.Z ,1996,** la filière doublé en algérie p9-10

- **Berama. R, 2004.** Contribution à l'étude de la technique du semis direct : Cas de la luzerne. Mém. Ing., INA El Harrach, Alger,. 94p.
- **Biosgontier .D. 1999.** Etude des effets de l'agriculture de conservation par rapport à l'agriculture traditionnelle, à compléter, revue,pp 12-14.
- **Brémaud.C, 2006.** Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rural
- **Bloksma A. H. (1990).**Dough structure in dough rheology, and baking quality. Cereal Foods World, 244 p.
- **Boubkeur.A.S.** étude phenologique et sélection de quelques variétés du blé dur introduites et cultivées dans plusieurs environnements. Mém. Magister. Université de Blida.
- **Boudreau.A, Ménard.G , 1992.**le blé éléments fondamentaux et transformation.
- **Bourson Y, 2009.** Mouture du blé tendre et techniques d'obtention de la farine. édition techniques de l'ingénieur.
- **Bushuk .W . 1985.** Flour protein : structur and fonctionnality in dough and bread cereal food word
- **Bushuk W. 1986.** Wheat: Chemistry and uses. Cereal Foods World.
- **Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V., & Ball, S. (1998).** Starch granules: structure and biosynthesis. International Journal of Biological Macromolecules, 23(2), 85–112.
- **Calvel .R. 1980.** Boulangerie moderne. 9ème édition. Eyrolles-Paris.
- **Candelou .A. 1981.** Les machines agricoles, Ed. j. b bailere, vol.2 Parise, 180p. CCCE(France)- Projet céréales (Algérie). 183p
- **Chargelegue, A., Guinet, R., Neyreneuf, O., ONNO, B., Poitrenaud, B. (1994).** La fermentation : La panification française. Vol. 528. Guinet, R. and Godon, B. eds., Lavoisier-Apiaria, Tec et Doc, Paris, 283-325 p.
- **Cherdouh A., Khelifi D., Carillo J.M et Nieto-Taladriz M.T., 2000** « Caractérisation biochimique et génétique des protéines de réserve des blés durs algériens. Relation avec la qualité », Symposium Blé 2000 : enjeux et stratégies / Alger, 7- 9 février 2000, pp : 311-314.
- **Cho, I. H., & Peterson, D. G. (2010).** Chemistry of Bread Aroma: A Review. *Food Science Biotechnologies*, 19(3), 575–582.
- **codex alimentarius.**

- **Cofalec. (2006).**Caractérisation des levures de boulangerie. Adopté par Comité de fabrication de levures de panification de l'union européenne. Paris. P: 1-10.
- **Debiton. C. (2010).** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) Favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse de doctorat Présentée à l'Université Blaise Pascal pour l'obtention du grade de docteur d'université,ClermontFerrand France.
- **D'Egidio M., Fortini S., Galterio G., Mariani B.M., Sgrulletta D. et Volpi M., 1979.** Protéines totales et composition protéique de semoules de blés durs italiens, corrélation avec la qualité des pâtes alimentaires. *Plant Foods for Human Nutrition*. Vol. 28, 24: 333-347.
- **Diehl .R. 1995.** Agriculture générale 2eme édition, Ballières . Paris pp 362-364
- **Dubois .M. 1996.** Les farines : caractérisation des farines et des pâtes : dernier développement dans le domaine analytique. *Industrie des Céréales*. n° 97
- **Djelti. H. (2014)** Etude de la qualité du blé tendre utilise en meunière algérienne. Mémoire de magistère présenté à l'Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen : 25-27p.
- **magistère présenté à l'Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen : 25-27p**
- **Djermoun.A, (2009)** «La production céréalière en Algérie les principales caractéristiques» université de Chlef, *Revue Nature et Technologie*, n° 01, p 45 à 53
- **Drapron R. et Godon .1987.** Role of enzymes in Baking In : *Cereal Technology*.
- **Delcour, J. A. (2005).** Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1–3), 12–30.
- **Desclaux.D. 2005.** Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin. Rapport du projet de recherche. INRA. Montpellier. France
- **Doerry, W. T. (1995).** *BreadmakingTechnology* (Chapters 4., pp. 62–162). Manhattan, KS: American Institute of Baking.
- **Dupin.H , Cuq.J .I,Malewiak.M.I, Leynaud-rouaud.C, Berthier.A.M. 1992** alimentation et nutrition humain.
- **Faubion J.M et Hoseney R.C., 1981.** Lipoxygénase: its Biochemistry and rolr in breadmaking. *Cereal chemistry*.58: 175-180.

- **Feillet .P.1974** « Brunissement des pâtes alimentaires de blé dur », Congrès de la Commission Internationale des Ind. Agr. Alim., Athènes, pp: 1-5.
- **Feillet.P, 2000.** le grain de blé. Edition INRA : composition et utilisation p 308.
- **Feillet .P, Autran J.C et Icard-Vernière. C.2000.** « Bases biochimiques du brunissement des pâtes alimentaires », Options Méditerranéennes. INRA, Montpellier, pp: 431-438.
- **Fould-Springer. (1988).** *Levure et panification* (Techno-Nathan).
- **Franconie.H, chastanet.M et sigaut.F , 2010,** couscous, boulgour et polenta : transformer et consommer les céréales dans le monde .Edition Karthala
- **Garcia, R. 2000.** Etude de trois systèmes enzymatiques d'oxydoréduction - catalase, peroxydase et glucose oxydase - pris isolément et en mélange, susceptibles d'intervenir en technologie de la panification. Thèse de Biochimie, Option Sciences alimentaires, Université paris 7.
- **Gate, P.H., (1995).** Ecophysiologie du blé ; Technique et documentation : Lavoisier, Paris 429 p.
- **Giannou V., Kessoglou V. & Tzia C. (2003).** Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. Trends in Food Science and Technology. 108 p.
- **Godon B et Berot S, 1991** les constituants de cereals nature, propriétés et teneur .lavoisier. paris.
- **Godon B. et Willm C. 1998.** Les industries de première transformation des céréales. Ed. Lavoisier. 656p.
- **Godon B.1991.** Biotransformation des produits céréaliers. Ed. Lavoisier. 598p.
- **Godon B et Loizel W.1997** « Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales », 2^{ème} édition. Tec & Doc. Lavoisier,198 p
- **Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., &**
- **Groff S. 2011.** Citrouilles en semis direct.Cedar Meadow Farm, Holtwood, Pennsylvanie.04p <http://www.cedarmeadowfarm.com>.
- **Hachemi. L, Deberanger.F. 1977.** Influence de l'apport d'azote sur la qualité du grain. Mitadinage et protéines. Céréaliculture, 5, pp :15-19.
- **Hamadache.A, 2001** travail du sol.
- **Hamadache.A, 2013** le blé tome 1.
- **Henry Y. J., Buyser.,(2000).** L'origine du blé. Pour la Science 26 :60-62
- **ITGC. 2013.** La culture du blé dur.

- **Jintet.R, Croguennec.T, Schuck.P, Brule.G.** science des aliments, ed : tec et doc Lavoisier Paris, 2007, 383 p.
- **Jourdren, S. 2017.** Le processus oral, une étape clé à l'origine des propriétés sensorielles de texture et d'arôme du pain. Quels sont les rôles de sa structure et de sa déstructuration en bouche sur les dynamiques de perceptions. thèse de doctorat.
- **Journal officiel de la république algérienne.2013**
- **Labreuche.J, François Laurent , Roger-Estrade.J .2014.** faut-il travailler le sol ? p 11.
- **Labreuche .J, Viloingt .T, Caboulet .D, Daouze J. P, Duval.R, Ganteil .A ,Jouy .L, Quere .L. Boizard .H et J. Roger-Estrade. 2007.** Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans labour (TCSL) en France. Partie I: La pratique des TCSL en France. ADEME.
- **Lasserre T.M.;Feillet P.; Abecassis J.; Chaurand M. et Autran JC. (2002).** Conséquences du fractionnement du blé dur sur la clarté des semoules et des pâtes alimentaires. ONIC-INRA:13p.
- **Landgraf, F. (2002).** Produits et procédés de panification. In *Techniques de l'ingénieur* (Vol. F6180).
- **Lecomte.C. 2005.** L'évaluation expérimentale des innovations variétales Proposition d'outils d'analyse de l'interaction génotype - milieu adaptés à la diversité des besoins et des contraintes des acteurs de la filière semences. Thèse de doctorat. L'institut national agronomique PARIS- GRIGNON.
- **Lempreur.I,Chaurand M., Abecassis J.C et Autran.J.C. 1997.** Valeur semoulière des blés dur (*Triticum durum Defs*) : influence de la taille des grains, industrie des céréales, 104,13-20.
- **Le stum. H 2017.** le blé
- **Linden, G., Lorient, D. (1994).** Biochimie agro-industrielle : Valorisation alimentaire de la production agricole.
- **Liu C.Y, Shepherd K.W et Rathjen A.T. 1996** improvement of durum wheat pasta making and breadmaking qualities. *Cereal chemistry* 73 (2): 155-165.
- **Mahdi M., 2004.** Contribution à l'étude de la technique du semis direct sous pivots. Mémoire d'ingénieur INA El-Harrach, pp:9-30.
- **Marston P. E. & Wannann T.L. (1983).**Bread Baking in The transformation fromdough to bread. *The baker's Digest*: 64 p.

- **Mathieu .S. 2004.** Techniques de travail réduit <http://www.clubsconseils.org/778-30k>.
- **Matsuo.R, Dexter J.E. 1980.** Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. *Canadian Journal of Plant Science*. 60:49-53.
- **Millar .S. 2006.** Role of the dough mixing process in bread production. In: HELDMAN D.R. (ED.), *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*. Taylor et Francis Group, London, pp1-4.
- **Morisson .W.R. 1978.** Cereal lipids. In *cereal science and technology vol II*.
- **Mrabet .R , 2001** le semis direct : potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord 1.
- **Ndangui, C. 2015.** Production et caractérisation de farine de patate douce (*Ipomoeabatatas.Lam*) : optimisation de la technologie de panification, Thèse de doctorat en procédés de biotechnologies et alimentaires. Université de Lorraine et l'Université Marien Nguabi, (134 p).
- **Pico, J., Bernal, J., & Gómez, M. (2015).** Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review. *Food Research International*, 75, 200–215.
- **Perten .H. 1990.** Rapid measurements of wet gluten quality by gluten index. *Cereal Foods World*. 35:401 p.
- **Quaglia G.B, 1988.** Other durum wheat products. In Giuseppe F. et Lintas C. (1988). *durum : chemistry and technology*. American association of cereal chemists, inc. Minnesota, USA P 263-281.
- **Rival.A ,2005.** le pain chez soi page 27-31
- **Rocherette M. 1974.** Généralités sur les produits alimentaires. 524p.
- **Roger-estrade.J, Labreuche.J, Richard.G. 2011.** effet de l'adoption des techniques culturales sans labour (TCLS) sur l'état physique des sols : conséquences sur la protection contre l'érosion hydrique en milieu tempéré. *Cahiers agriculture*.
- **Roussel .P, Chiron .H. 2005.** Les pains français : évolution, qualité, production. Edition MAE ERTI, Paris, 171 – 172
- **Royo C., Elias M.E. et Manthey F.A., 2009.** Durum wheat breeding. In. *Handbook of plant breeding: Cereals*. Springer, 198-219.

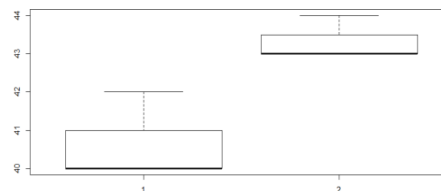
- **Sablani, S.S, Marcotte, M, Baik, O.D. and Castaigne, F. 1998.** Modeling of simultaneous heat and water transport in the baking process. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technology*, 31, 201-209.
- **Scotti, G .(1997).** Analyses physicochimiques, partie I, analyse physiques des grains du blé tendre et du blé dur, In : (guide pratique d'analyse dans les industries des céréales).
- **Selmi.R. 2000.** Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. *Revue Afrique Agriculture* .N° 280.
- **Shehzad, A. (2010).** Rôle du pétrissage de farine de blé sur les propriétés rhéologiques de la pâte et la texture du pain, Thèse de Doctorat, Université De Nantes UFR Sciences et Techniques, 204p.
- **Si bennasseur, A 2003-2004** référentiel pour la conduite technique de la culture du blé dur.
- **Soltner.D. 1988.** Les grandes productions végétales. Les collections science et technique agricoles, Ed. 17ème édition 71p.
- **Soltner.D. 1998.** Les techniques culturales simplifiées, pourquoi. Guide d'agriculture intégrée. Science et techniques agricoles
- **Soutter.M, Mermoud .A, Musy.A. 2007.** Ingénierie des eaux et du sol processus et management, p 266.
- **Surget A., Barron C., 2005.** Histologie du grain de blé. *Industrie des Céréales* 145 3-7.
- tabarka-tunisie-19-22 janvier 2004 deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct.
- **Trentesaux .E. 1992.** Evaluation de la qualité du blé dur. In. Fonzo N, Kaan F. et Nachit M. Durum wheat quality in the Mediterranean region. Option Méditerranéennes, Série A, n° 22 CIHEAM-IAMZ.
- **Trentesaux.E. 1995.** Evaluation de la qualité du blé dur. Durum wheat quality in the Mediterranean Region. *Seminaires Méditerranéen* N° 22.
- **Triplett G. B. Warren A. 2008.** No-Tillage Crop Production: A Revolution in Agriculture .Celebrate the Centennial [A Supplement to *Agronomy Journal*] . pp 153-165.
- **Viaux.P ,1999.** Une 3e voie en grande culture: environnement, qualité et rentabilité, ... page 49

- **Vierling .E, 2008.** Aliments et boissons: filières et produits, 3^{ème} édition. Paris.277 pages.
- **Xanxo L., A. Solans, C. Cantero-Martínez , 2006.** Système de production de cultures fourragères en semis direct dans la zone de la Seud'Urgell, à Lleida, en Espagne.

Annexes

Annexe 1 .Analyses statistiques du PMG

Semis direct	Semis conventionnel
40.67	43.33
±	±
1.15	0.57
p-value = 0.02322 t = -3.5777, df = 4	

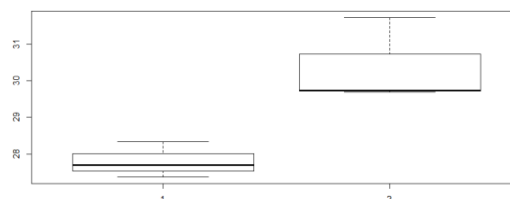


La boite à moustache pour le poids de mille grains

- 1 Semis direct
- 2 Semis conventionnel

annexe 2. analyses statistiques du Gh

Semis direct	Semis conventionnel
27.80	30.39
±	±
0.49	1.16
t = -3.5438, df = 2.6989, p-value = 0.04523	



La boite à moustache pour le gluten humide

- 1 Semis direct
- 2 Semis conventionnel

Annexe 3. Analyses statistiques de gluten sec

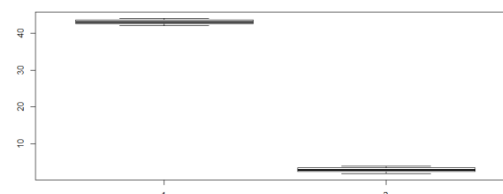
Semis direct	Semis conventionnel
10.04	10.99
±	±
0.31	0.61
t = -2.38, df = 4, p-value = 0.07599	

Annexe 4. Analyses statistiques de gluten index

Semis direct	Semis conventionnel
44.66	26.29
±	±
4.77	12.94
t = 2.3055, df = 4, p-value = 0.08244	

Annexe 5. analyses statistiques de mitadinage

Semis direct	Semis conventionnel
43	3
±	±
1	1
t = -3.5438, df = 2.6989, p-value = 0.04523	

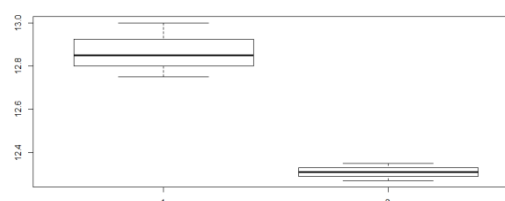


La boîte à moustache pour le mitadinage

- 1 Semis direct
- 2 Semis conventionnel

Annexe 6. Analyses statistiques des grains broyés.

Semis direct	Semis conventionnel
12.87	12.31
±	±
0.12	0.04
t = 7.3024, df = 4, p-value = 0.00187	

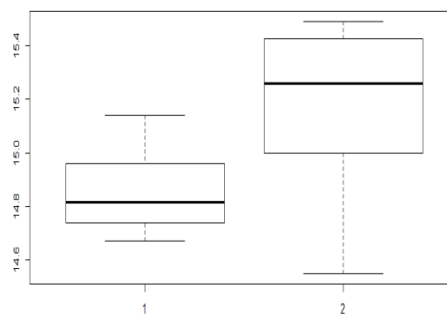


La boîte à moustache pour humidité des grains broyés

- 1 Semis direct
- 2 Semis conventionnel

Annexe 7. Analyses statistiques de l'indice de jaune

Semis direct	Semis conventionnel
14.86	15.17
±	±
0.16	0.32
t = -2.519, df = 14, p-value = 0.0245	



Annexe 8. Analyses statistiques de l'indice de brun

Semis direct	Semis conventionnel
88.04	84.28
±	±
1.40	0.21
t = 7.4727, df = 7.3392, p-value = 0.0001108	

Semis direct	Semis conventionnel
63.85 ± 0.70	63.94 ± 0.82
t = -0.1437, df = 3.9048, p-value = 0.8928	

Annexe 9. Analyses statistiques de l'indice de capacité d'hydratation.

**Grille d'appréciation de la qualité des pains : la notation du pain dans la grille NF V03-716
(méthode AFNOR)**

Annexe 10 : Grille de panification pour le travail conventionnel. (A)

Interprétations observations et notes	insuffisance				excès			principe de calcul		
	1	4	7	10	7	4	1	des notes		
Lissage				x				× 0,5 / 5	5	
Collant de la pâte					x			× 0,5 / 5	3.5	
Consistance										
Extensibilité			x					× 0,5 / 5	3.5	
Elasticité		x						× 0,5 / 5	2	
Relâchement						x		× 0,5 / 5	2	
PETRISSAGE								total= 16 / 25	× coef (0.5)=	8 / 25
Pousse en cuve										
Détente : relâchement						x		× 1		
POINTAGE								total= 4 / 10		4 / 10
Allongement						x		× 0,5 / 5	2	
Déchirement				x				× 0,5 / 5	5	
Elasticité			x					× 0,5 / 5	3.5	
Collant de la pâte						x		× 1 / 10	2	
FACONNAGE								total= 12.5 / 25	× coef (0.5)=	6.25 / 25
Activité fermentative			x					× 0,5 / 5	3.5	
Déchirement				x				× 0,5 / 5	5	
APPRET								total= 8. / 10	8.5 / 10	
								5		
Collant de la pâte						x		× 1 / 10	4	
Tenue		x						× 2 / 20	8	
MISE AU FOUR								total= 12 / 30	× coef (0.5)=	6 / 30
								total pâte 32.75 / 100		
Volume des pains	3.9/3.9/3.8							total= / 30		14.43 / 30
Section		x						× 1 / 10	4	
Couleur			x					× 2 / 20	14	
Epaisseur		x						× 0,5 / 5	2	
Croustillant		x						× 0,5 / 5	2	
Coup : Développement		x						× 1 / 10	4	
de : Régularité			x					× 1 / 10	7	
lame : Déchirement				x				× 1 / 10	10	
ASPECT DU PAIN								total = 43 / 70	× coef (0.5)=	21.5 / 70
								total pain 35.93 / 100		
Couleur				x				× 1 / 10	10	
Texture : souplesse			x					× 1 / 10	7	
Elasticité				x				× 1 / 10	10	
Collant				x				× 1 / 10	10	
Alvéolage : régularité				x				× 1 / 10	10	
Epaisseur				x				× 1 / 10	10	
Flaveur					x			× 4 / 40	28	
ASPECT MIE								total mie 85 / 100		
								Valeur boulangère 153.75 / 300		

Annexe 11. Grille de panification pour le travail conventionnel. (B)

Interprétations observations et notes	insuffisance				excès			principe de calcul		
	1	4	7	10	7	4	1	des notes		
Lissage			×					× 0,5 / 5	3.5	
Collant de la pâte					×			× 0,5 / 5	3.5	
Consistance										
Extensibilité			×					× 0,5 / 5	3.5	
Elasticité			×					× 0,5 / 5	3.5	
Relâchement						×		× 0,5 / 5	2	
PETRISSAGE								total=16 / 25	× coef (0.5)=	8/ 25
Pousse en cuve										
Détente : relâchement						×		× 1 / 4	4	
POINTAGE								total= 4 / 10		4 / 10
Allongement					×			× 0,5 / 5	3.5	
Déchirement				×				× 0,5 / 5	5	
Elasticité			×					× 0,5 / 5	3.5	
Collant de la pâte					×			× 1 / 10	7	
FACONNAGE								total=19 / 25	× coef(0.75)=	14.25/ 25
Activité fermentative			×					× 0,5 / 5	3.5	
Déchirement					×			× 0,5 / 5	3.5	
APPRET								total=7 / 10		7/ 10
Collant de la pâte					×			× 1 / 10	7	
Tenue			×					× 2 / 20	14	
MISE AU FOUR								total=21 / 30	× coef (0.75)=	15.75/ 30
								total pâte	49 / 100	
Volume des pains	4.19/4.22/4.30							total= / 30		15.86/ 30
Section		×						× 1 / 10	4	
Couleur			×					× 2 / 20	14	
Epaisseur		×						× 0,5 / 5	2	
Croustillant			×					× 0,5 / 5	3.5	
Coup : Développement		×						× 1 / 10	4	
de : Régularité			×					× 1 / 10	7	
lame : Déchirement				×				× 1 / 10	10	
ASPECT DU PAIN								total =44.5/ 70	× coef (0.5)=	22.25/ 70
								total pain	38.11 / 100	
Couleur				×				× 1 / 10	10	
Texture : souplesse			×					× 1 / 10	7	
Elasticité				×				× 1 / 10	10	
Collant				×				× 1 / 10	10	
Alvéolage : régularité				×				× 1 / 10	10	
Epaisseur				×				× 1 / 10	10	
Flaveur					×			× 4 / 40	28	
ASPECT MIE								total mie	85 / 100	
								Valeur boulangère	172.11 / 300	

Annexe 12. Grille de panification pour semis direct.

Interprétations observations et notes	insuffisance				excès				principe de calcul	
	1	4	7	10	7	4	1	des notes		
Lissage				x				× 0,5 / 5	5	
Collant de la pâte					x			× 0,5 / 5	3.5	
Consistance										
Extensibilité			x					× 0,5 / 5	3.5	
Elasticité				x				× 0,5 / 5	5	
Relâchement						x		× 0,5 / 5	2	
PETRISSAGE								total=19 / 25	× coef (0.5)=	9.5/ 25
Pousse en cuve										
Détente : relâchement					x			× 1 / 7	7	
POINTAGE								total= 7 / 10		7/ 10
Allongement					x			× 0,5 / 5	3.5	
Déchirement				x				× 0,5 / 5	5	
Elasticité				x				× 0,5 / 5	5	
Collant de la pâte					x			× 1 / 10	7	
FACONNAGE								total=20 / 25	× coef(0.75)=	15.37/ 25
Activité fermentative				x				× 0,5 / 5	5	
Déchirement				x				× 0,5 / 5	5	
APPRET								total=10 / 10		10/ 10
Collant de la pâte					x			× 1 / 10	7	
Tenue				x				× 2 / 20	20	
MISE AU FOUR								total=27 / 30	× coef (1)=	27/ 30
								total pâte	68.87 / 100	
Volume des pains	5.85/5.80/5.70							total=	/ 30	22.01/ 30
Section				x				× 1 / 10	10	
Couleur			x					× 2 / 20	14	
Epaisseur				x				× 0,5 / 5	5	
Croustillant				x				× 0,5 / 5	5	
Coup :Développement			x					× 1 / 10	7	
de : Régularité				x				× 1 / 10	10	
lame : Déchirement				x				× 1 / 10	10	
ASPECT DU PAIN								total =61/ 70	× coef (0.75)=	45.75/ 70
								total pain	67.43 / 100	
Couleur				x				× 1 / 10	10	
Texture : souplesse				x				× 1 / 10	10	
Elasticité				x				× 1 / 10	10	
Collant				x				× 1 / 10	10	
Alvéolage : régularité				x				× 1 / 10	10	
Epaisseur				x				× 1 / 10	10	
Flaveur			x					× 4 / 40	28	
ASPECT MIE								total mie	88 / 100	
								Valeur boulangère	224.31 / 300	