



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH



Faculté des Sciences et Techniques Fès

Département des Sciences de la Vie

Mémoire De Projet De Fin D'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master  
*Sciences et Techniques*

*Gestion Et Conservation De La Biodiversité*

EVALUATION DU POTENTIEL ALIMENTAIRE DES  
MELANGES BLE/AVOINE POUR CERTAINS PARAMETRES  
DE QUALITE TECHNOLOGIQUE ET NUTRITIONNELLE

**Présenté par :**

BENJLIL Hinde

**Encadré par :**

- ✓ Pr.LAZRAQ Abderrahim.
- ✓ Pr.TAGHOUTI Mona
- ✓ Pr.Saidi Nezha

**Soutenu le 25 Juin 2015 devant le jury composé de:**

Pr. LAZRAQ abderrahim	FST-Fès	Président
Pr. TAGHOUTI Mona	INRA-Rabat	Co-encadrant
Pr. SAIDI Nezha	INRA-Rabat	Co-encadrant
Pr. AMRANI J. Khalid	FST-Fès	Examineur
Pr. AL FIGUIGUI Jamila	FST-Fès	Examinatrice
Pr. BENJELLOUN Meryem	FST-Fès	Examinatrice
Pr. LOUAHLIA Said	FPT-Taza	Examineur

Stage effectué au sein de l'Institut National de la Recherche Agronomique Rabat (INRA)

*Année Universitaire : 2014/2015*

## **Dédicace**

*A ma mère et mon père Aucun mot ne pourrait exprimer l'attachement, l'amour et le respect que j'éprouve pour vous Vous êtes mon refuge permanent dans tous les moments et source inépuisable d'amour, d'affection, et d'encouragements. J'espère avoir répondu à vos espoirs et j'espère être digne de l'éducation et des précieux conseils que vous m'avez toujours prodigué. A toutes les personnes que j'aime : Mes trois sœurs Fatima, wessal et Salma, et mes deux frères Rachid et Hamza qu'ils trouvent ici l'expression de ma vive gratitude en témoignage de notre fraternité sans égale, j'espère avoir atteint le seuil de vos espérances. La grande famille, BENJLIL & ELBOUHABI. Tous mes amis(es) et camarades surtout ELOUASSY SAFAA ET TOKY ARISILY, en témoignage des agréables moments qu'on a passé ensemble. A tous ceux qui ont contribué, d'une façon ou d'une autre, à l'élaboration de ce travail...*

# *Remerciement*

En préambule à ce mémoire je remercie ALLAH le tout puissant, qui m' a aider et donner la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention, consciente, d'un grand nombre de personnes que je souhaite remercier.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Mr. BADRAOUI Mohamed, Directeur de l'institut national de recherche agronomique à Rabat, qui m'a donné l'opportunité d'effectuer mon stage de projet de fin d'étude au sein de la département de la technologie alimentaire et assuré avec rigueur la bonne conduite de cette étude et pour que ce travail soit réaliser dans les bonnes conditions.

Mon hommage va également à Mr LAZRAQ Abdrrahim, professeur enseignant au département de biologie de faculté des sciences et techniques Fès pour son encadrement tout au long de mon stage, je le remercie pour son soutien et sa disponibilité.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Madame TAGHOUTI Mona et Madame SAIDI Nazha, ingénieurs agronomes au département de la Technologie Alimentaire, à l'Institut national de recherche Agronomique à RABAT (INRA), pour l'efficacité de son encadrement, ses conseils judicieux et pour ses encouragements visant à mener à bien notre travail de fin d'études.

Un grand Merci est également adressé à Mr KAMAR Mustapha et Madame BANALI Aouatif pour leurs conseils fructueux qu'ils m'ont donné et le soutien moral qu'ils m'ont procuré.

Je tiens vivement à exprimer ma reconnaissance envers les chefs de poste et les équipes des département de l'institut national de recherche agronomique à Rabat (INRA) pour leur intérêt, leurs suggestions fructueuses et leur soutien.

je tiens également à adresser mes plus vifs remerciements à tous les membres du jury qui nous ont honorés en acceptant de juger ce travail.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

# Résumé

L'alimentation humaine est basée sur les produits céréaliers, dont le blé est le plus utilisé, par contre sur le plan nutritionnel l'avoine présente une haute qualité par rapport au blé, d'où l'intérêt de l'incorporation de ce dernier dans la farine commerciale du blé. Plusieurs études dans différents pays ont été menées dans ce contexte.

Ce présent travail s'est penché sur l'évaluation du potentiel alimentaire du mélange blé / avoine pour certains paramètres technologiques et nutritionnels, en réalisant des mélanges avec 10, 30 et 50% d'avoine ; combinaison entre trois lignées d'avoine cultivées : L1, L2 et L3 et trois variétés de blé, deux blés tendres « khatrouba » et « kenz » et une variété de blé dur « Louiza ».

Les mélanges ont été analysés pour la teneur en bêta glucanes, le taux de protéines, la composition minérale (taux de Zin, taux de Potassium et teneur en fer), le taux de pigments jaunes, la clarté de la mouture et la force de gluten appréciée par l'indice de sédimentation au SDS.

Les résultats d'analyses ont montré une variation significative entre les différents types de mélanges au niveau de tous les paramètres mesurés. De plus, le mélange (L2\*BT1) à 50% présente le taux de bêta glucanes le plus élevé, le mélange (L2\*BT2) à 30% possède le taux de protéines le plus élevé. Les mélanges (L1\*BD), (L2\*BD), (L2\*BD) à 50% ont enregistré les taux de potassium les plus élevés.

Le taux le plus élevé en fer a été noté au niveau des mélanges (L1\*BD) à 10% et (L3\*BD) à 50%, la teneur en zinc la plus élevée a été noté chez (L1\*BD) à 10% et (L3\*BD) à 50%. Pour les pigments jaunes le mélange (L3\*BD) à 50 % était meilleur. Le mélange (L1\*BD) à 10% possède la meilleure clarté.

Pour la force du gluten, le mélange (L2\*BT1) à 10% a enregistré l'indice de sédimentation le plus élevé. L'accroissement du pourcentage des produits d'avoine dans les mélanges Blé-avoine ont nettement amélioré les paramètres de la qualité nutritionnelle au détriment d'une diminution significative de paramètres de la qualité technologique.

**Mots clé :** Blé, Avoine, Mélange, Qualité, Alimentation.

## *Abstract*

Human nutrition is based on the cereal products, in which the wheat is the most used. On the contrary, oats present high quality on the nutritional plan compared to the wheat, hence the incorporation of oat is in the commercial flour of wheat is of a great importance of. Several studies in various countries have been conducted in this context.

This work aims to evaluate the nutritional potential of wheat / oats mixture for certain technological and nutritional parameters by using some mixtures with 10, 30 and 50 % of oats (combination between 3 cultivated lines of oats:L1, L2, L3 and 3 varieties of wheat, two bread wheat; “kharouba” and “kenz”, and one durum wheat variety “Louiza”). The mixtures were analyzed for the beta glucan content, protein content, mineral composition (Zn, K, and Fe content), yellow pigment, clarity and the gluten strength. The results reveal great variation between the mixtures in all measured parameters.

The mixture (L2\*BT1) at 50 % possessed high level in terms of beta glucan, the mixture (L2\*BT2) 30 % was better for proteins content, for the potassium the best mixtures were (L1\*BD), (L2\*BD), (L2\*BD) at 50 %. For iron, (L1\*BD) at 10 % and (L3\*BD) at 50 % gave the high rate. For zinc (L1\*BD) at 10 % and (L3\*BD) at 50 % were the best mixture. Furthermore, the mixture (L3\*BD) at 50 % possessed high level in terms of yellow pigment. For the clarity the mixture (L1\*BD) at 10 % was the best. Gluten strength analysis reveals high values of SDS index with in the mixture (L2\*BT1) at 10 %.

The raising percentage of the oats products in the mixtures seems to be distinctly responsible for the significant increase in nutritional quality traits but affect negatively technological and visual quality traits.

**Keywords :** Wheat, Oat, Mixture, Quality, Alimentation.

## *Listes d'abrveations*

<b>BT1</b>	blé tendre kharouba
<b>BT2</b>	blé tendre Kenz
<b>DB</b>	blé dur Louiza
<b>FAO</b>	food and agriculture organisation
<b>L1</b>	ligné d'avoine cultivé F11-1
<b>L2</b>	ligné d'avoine cultivéF15-3
<b>L3</b>	ligné d'avoine cultivé F11-2
<b>(L1*DB) 10</b>	mélange entre la variété du blé dur et ligné 1 d'avoine cultivé F11-1 à10%.
<b>UE</b>	union européenne
<b>Pa</b>	acide phytique
<b>SNIMA</b>	Service de Normalisation Industrielle Marocaine
<b>SDS</b>	Sodium Dodecyl Sulfate

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1</b> : la production mondiale d'avoine en milliers tonnes et le pourcentage mondiale (Strychar, 2009) (Source : U.S. Department of Agriculture) .....	15
<b>Tableau 2</b> : Tableau d'ANOVA des différents paramètres nutritionnelles. ....	30
<b>Tableau 3</b> : Moyennes de la teneur en bêta glucane en pourcentage des échantillons testés. ....	31
<b>Tableau 4</b> : Moyennes du taux de protéine en pourcentage des échantillons testés. ....	33
<b>Tableau 5</b> : Moyennes de la teneur en potassium en poids sec des échantillons testés. ....	35
<b>Tableau 6</b> : Moyennes de la teneur en Fer mg/100g du poids sec des échantillons testés. ....	37
<b>Tableau 7</b> : Moyennes en zinc en mg/100g du Poids sec des échantillons testés. ....	39
<b>Tableau 8</b> : Tableau d'ANOVA des paramètres technologiques.....	40
<b>Tableau 9</b> : Moyennes de la teneur en bêta carotène en ppm des échantillons testés.....	41
<b>Tableau 10</b> : Moyennes de la clarté des échantillons testés. ....	43
<b>Tableau 11</b> : Moyennes de l'indice de sédimentation des échantillons testés .....	45

## *Liste des figures*

Figure 1: Quantité de la production des 10 premiers pays producteurs du blé dans le monde (source FAO, 2011).....	10
Figure 2 : Evolution de la production nationale des céréales (1979-2004) (Akka, 2006) .....	11

# Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I: Revue bibliographique	
I. Présentation du blé.....	3
1. Origine .....	3
2. Taxonomie: .....	3
3- Description morphologique de la plante .....	4
4- Importance et Utilisation du blé.....	5
5- Composition chimique et valeur nutritive du blé:.....	6
6. La production mondiale et nationale des blés: .....	9
II. Présentation de l'espèce Avoine .....	11
1. Origine :.....	11
2. Taxonomie :.....	12
3. Description morphologique de la plante :.....	12
4. Importance et utilisation d'avoine : .....	13
5. Composition chimique et valeur nutritive : .....	14
6. Production mondiale et nationale :.....	15
7. Intérêt et Importance de l'utilisation de l'avoine dans la farine commerciale du blé : 10	
8. Valorisation de la farine de l'avoine :.....	16
Chapitre 2: Matériels et méthodes	
I. Matériel végétal : .....	20
1. Le blé : .....	20
2. L'avoine : .....	20
II. Préparation des mélanges blé /avoine :.....	20
III. Evaluation de la qualité du Mélange blé /avoine :.....	20
1. Qualité nutritionnelle : .....	20
2. Qualité technologique: .....	26
IV. L'analyse statistique : .....	29
CHAPITRE 3: RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	
1. Qualité nutritionnelle : .....	30
2. Qualité technologique : .....	40
Conclusion générale et recommandations.....	47

Perspectives .....	48
Références bibliographiques .....	49

## Introduction générale

La farine de blé est l'ingrédient alimentaire le plus consommé dans le monde. Cette farine constitue la matière première de plusieurs secteurs de l'industrie agro-alimentaire : boulangerie (artisanale et industrielle), amidonnerie/glucoserie de blé, biscotterie, pâtisserie, biscuiterie. La farine de blé contient essentiellement de l'amidon et des protéines, certaines solubles (albumines, globulines), d'autres insolubles (prolamines, gliadines et gluténines), les protéines insolubles constituent le gluten.

La maladie cœliaque est une forme d'intolérance au gluten, cependant il est estimé que les gliadines pourraient poser des problèmes nutritionnels à l'ensemble de la population (Zuzana Šramková, 2009). Dans ce contexte, les chercheurs ont trouvé une solution telle que l'incorporation des additifs ayant une haute valeur nutritive, dont l'avoine.

L'avoine est riche en protéines et en fibres alimentaires et sa teneur en acides gras est favorable pour la santé (Liukkonen et al, 1992). Wieser et al. (1980) ont démontré que la farine d'avoine est beaucoup plus riche en protéines que celle du blé, du seigle, de l'orge, du riz, du maïs et du sorgho, son grain contient beaucoup de lipides avec un contenu significatif en acides gras insaturés (Czubaszek, 2008 ; Hampshire, 2004 ; Peterson et al. 2005). En outre, en plus de ces lipides, sont présents également les tocophérols et les tocotriénols, des composés ayant une activité anti-cancer qui empêchent les maladies cardio-vasculaire. Et ce qui a plus contribué à l'augmentation de l'intérêt de l'avoine, est la présence d'une fibre alimentaire contenant environ 50% de fraction soluble, qui est le  $\beta$ -glucanes (Hampshire, 2004). Le son de l'avoine est particulièrement riche en fibres, avec une teneur de 24% (Zarzycki et Rzedziecki, 2009), et parmi ces composés présents dans les fibres d'avoine, certains absorbent les substances nocives pour la santé comme les métaux lourds, les résidus d'agents de protection des plantes présents dans les nourritures et les empêchent d'être absorbés par le corps.

Anderson Ponts [1993] a souligné que l'incorporation des produits d'avoine dans un régime humain abaisse le taux de cholestérol dans le sang. Il a été démontré que les produits de boulangerie avec des additifs d'avoine pourraient avoir de bonnes propriétés physiques et organoleptiques (Czubaszek, 2008 ; Flander et al. 2004 ; Meltzer, 2005 ; Salmenkallio-Marttila et al. 2004). Ainsi, les produits d'avoine peuvent être considérés comme des additifs précieux de la farine de blé. Cependant, ils peuvent également affecter diversement la qualité du produit

cuit en raison de divers facteurs tels que la qualité de la farine du blé, et cela dépend aussi du type et de la quantité d'avoine incorporée. (Anna Czubaszek, 2005)

L'objectif visé par ce travail est d'évaluer les effets de l'incorporation de l'avoine à différents pourcentages 10, 30, et 50% dans la farine commerciale du blé, sur la qualité nutritionnelle et technologique du blé.

Ceci dans le but de déterminer le pourcentage et le mélange blé/avoine, adéquat sans altérer l'aptitude technologique du blé.

## *Chapitre I: Revue bibliographique*

# I. Présentation du blé

## 1. Origine

Le blé est originaire du croissant fertile de Mésopotamie (l'Irak et l'Iran d'aujourd'hui). L'ancêtre du blé dur serait né de croisements naturels entre différentes espèces de blé sauvage. Depuis cette période, l'homme a toujours amélioré l'espèce par la sélection. La première trace du blé dur (*Triticum durum*) a été découverte dans une pyramide égyptienne construite trois siècles avant J-C. De nos jours, on retrouve plusieurs espèces sauvages ou cultivées très proches du blé dur: l'amidonnier sauvage, le blé barbu, le blé de Pologne, le blé du Caucase ou le blé de Géorgie. (CLERGET, 2011)

## 2. Taxonomie:

### a) Blé dur :

La position systématique du blé dur est la suivante :

**Classe :** *Liliopsida*

**Ordre :** *Cyperales*

**Famille :** *Poaceae* (graminées)

**Genre :** *Triticum*

**Espèce :** *Triticum durum* (linné, 1753)

### b) Blé tendre :

Le blé tendre appartient à la :

**Classe :** *Liliopsida*

**Ordre :** *Cyperales*

**Famille :** *Poaceae* (graminées)

**Genre :** *Triticum L*

**Espèce :** *Triticum aestivum* (linné, 1753)

### 3- Description morphologique de la plante

C'est une graminée dont "la tige" rectiligne creuse est cloisonnée par des nœuds pleins et renflés : ce genre de tige a reçu le nom de chaume. Vers la base, chaque nœud au contact du sol porte un faisceau de racines adventives et souvent une tige verticale non ramifiée. C'est ainsi qu'un seul grain peut donner naissance à plusieurs tiges. Le phénomène favorisé par les roulages de printemps a reçu le nom de tallage.

Les feuilles qui prennent naissance au niveau des nœuds sont disposées en deux rangées opposées autour de la tige. Elles sont sans pétiole, engainantes à la base avec une languette membraneuse appelée ligule, puis rubanées avec des nervures parallèles.

C'est une plante annuelle, semée à l'automne (blé d'hiver) ou au printemps (blé de printemps), qui fructifie en été.

L'épi est composé de petits épis ou épillets. Chaque épillet est enveloppé de deux bractées protectrices appelées glumes. Il est composé de trois, quatre, cinq fleurs avec une fleur terminale stérile. Chaque fleur est elle-même entourée de deux petites bractées protectrices ou glumelles. Dans les blés non barbus, chaque glumelle inférieure se termine par une courte pointe. Dans les blés barbus, chaque glumelle inférieure porte une longue arête. Dans l'utilisation du blé, l'élimination des glumes et des glumelles indigestes se faisait beaucoup par torréfaction jusqu'à une période récente, elle se faisait aussi et se fait toujours par battage et par vannage.

La fleur est verdâtre et dépourvue de corolle : il n'y a pas de pétales colorés. Le calice est formé de deux minuscules écailles ou glumelles jouant le rôle de sépales. Il y a trois étamines et le carpelle unique, qui ne renferme qu'un seul ovule, présente un ovaire renflé à la base et il est surmonté de deux stigmates plumeux. L'organe femelle reste enfermé dans les glumelles ; la plupart du temps, il y a autogamie par autofécondation de la fleur par son propre pollen.

Le grain de blé est un akène d'un type spécial. Le tégument de la graine et la paroi du fruit sont soudés en un tégument unique si bien que le grain de blé, tout en étant un vrai fruit, présente l'aspect d'une simple graine. Ce fruit sec qui est appelé caryopse est caractéristique des graminées. L'essentiel du grain est constitué par un organe de réserve appelé albumen formé d'amidon et de plus ou moins de gluten : chez les blés tendres l'albumen est pauvre en gluten, chez les blés durs l'albumen est plus riche en gluten. La plantule qui n'occupe qu'une petite partie du grain n'est formée que d'un seul cotylédon. Elle comprend la radicule et la gemmule logées dans des étuis. Radicule et gemmule

s'allongent et percent les étuis pour donner les racines et la tige. La tigelle embryonnaire ne s'allonge pas et le grain qui ne lève pas reste dans le sol.

Les deux principales espèces actuellement cultivées sont le blé commun ou blé tendre, riche en amidon, cultivé un peu partout dans les régions tempérées : *Triticum aestivum Lamk.* Et le blé dur, riche en amidon et en gluten est cultivé dans des zones plus chaudes et plus sèches : *Triticum durum L.*

#### **4- Importance et Utilisation du blé**

La majorité des utilisations des blés concerne l'alimentation humaine et animale. Dans l'alimentation humaine, Les grains transformés en semoule servent à la fabrication de pain, de galettes, de couscous et surtout des pâtes alimentaires. Contrairement à l'amande farineuse, blanche et friable du blé tendre, l'amande du blé dur est jaune, translucide mais surtout dure. Après la récolte, les grains de blé dur sont nettoyés, triés puis transformés en semoule par broyage. Suite à cette étape, on obtient 3 types de semoule:

- une semoule fine pour fabriquer les pâtes,
- une semoule moyenne pour le couscous,
- une grosse semoule utilisée dans la fabrication de potages et d'entremet.

Le blé tendre quant à lui est utilisé principalement en meunerie pour obtenir de la farine nécessaire à la production de pain, de viennoiseries ou de pâtisseries. Outre ces utilisations classiques du blé, de nouvelles utilisations à échelle industrielle sont apparues depuis quelques années telles que la fabrication de bioplastiques à base de gluten ou d'amidon. Les principaux débouchés sont les sacs plastiques, les plastiques agricoles, les emballages et certains produits d'hygiène. Ces bioplastiques ont l'avantage par rapport à leurs homologues d'origine fossile d'être biodégradables et renouvelables. L'amidonnerie, un autre secteur valorisant le blé, utilise l'amidon pour faire des épaississants alimentaires. Par l'intermédiaire de la chimie, l'amidon a de multiples usages. Par exemple dans l'industrie pharmaceutique, Il est utilisé en tant que dragéfiant, liant ou encore principe actif tel que le sorbitol. Dans de moindres proportions, l'amidon transformé peut être employé dans la fabrication de papier, de carton mais aussi de détergents. L'amidon du blé tendre est également utilisé depuis plusieurs années comme matière première pour la fabrication de biocarburants. (FAO, 2008)

## 5- Composition chimique et valeur nutritive du blé:

### a) Les protéines :

Les protéines sont considérées comme l'élément nutritif le plus important pour les humains et les animaux, la teneur en protéine dans les grains de blé peuvent varier entre 10% et 18% de la matière sèche totale (Zuzana Šramková, 2009)

Les protéines de blé sont classées en fonction de leur solubilité dans divers solvants. Cette classification est basée sur le travail classique de TD Osborne au tournant du dernier siècle. Dans sa procédure d'extraction séquentielle, les résultats des fractions protéiques de grains de blé moulu sont les suivantes :

- Les albumines, qui sont solubles dans l'eau ;
- Les globulines, qui sont insolubles dans l'eau pure, mais solubles dans des solutions diluées de NaCl, et insoluble à des concentrations élevées de NaCl ;
- Les gliadines, qui sont solubles dans l'alcool éthylique à 70%, et ;
- Les gluténines, qui sont solubles dans des solutions d'acide dilué ou de l'hydroxyde de sodium.

Les Albumines sont les plus petites protéines de blé, suivie en taille par les globulines. Par contre les gliadines et les gluténines sont des protéines complexes de haut poids moléculaire. Les albumines et les globulines couvrent une fraction d'environ 25% des protéines totales des céréales (Belderok et al. 2000). Les Gliadines et les gluténines sont des protéines de stockage et couvrent environ 75% de la protéine totale.

### b) L'Amidon :

L'amidon est essentiellement un polymère de glucose. Chimiquement, au moins deux types de polymères sont à distinguer : l'amylose et l'amylopectine. La quantité d'amidon contenu dans un grain de blé peut varier entre 60% et 75% du poids sec total du grain. Le blé a deux types de granules d'amidon : grandes (25-40 um) lenticulaires et petites (5-10um) sphériques. Les granules lenticulaires sont formés au cours des 15 premiers jours après la pollinisation. Les petits grains, représentant environ de 88% du total des granules, apparaissent de 10 à 30 jours après la pollinisation (Belderok et al, 2000).

### c) Les lipides :

Les graines de blé de maturation synthétisent des acides gras à des taux différents. La biosynthèse des lipides dépend d'acétyl coenzyme A. Ce composé important est impliqué dans la synthèse des lipides acyle tels que les glycérides, les phospholipides, les cires de sphingosine ainsi que la série d'isoprénoïde (Cornell, 2003).

Le germe possède la plus grande quantité des lipides (11%), mais des quantités importantes sont également associées avec le son (Cornell, 2003).

### d) Les fibres :

Les fibres alimentaires sont définies comme la lignine ainsi que les composants de polysaccharides des plantes qui sont digestibles par les enzymes dans le tractus gastro-intestinal humain (Bermink, 1994). Ces composants sont généralement divisés en deux catégories : les fibres alimentaires solubles dans l'eau, comprenant les substances pectiques et les hydrocolloïdes, et les fibres alimentaires insolubles dans l'eau comprenant la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Les grains du blé entiers sont de bonnes sources des fibres insolubles, les arabinoxylanes (AX) et (1 → 3), (1 → 4) -β-glucanes sont les importants composants des parois cellulaires de l'endosperme du blé.

La prise de conscience croissante des avantages potentiels de l'alimentation riche en fibres a promu une culture l'intérêt pour la consommation de pains de grains entiers et les pains de son. La supplémentation a été utilisée pour améliorer la teneur en fibres des aliments. Certains produits de boulangerie fibre fortifiée ont été disponibles depuis des années. Alors que la supplémentation a mis l'accent sur biscuits, craquelins et autres produits à base de céréales, l'amélioration de la teneur en fibres dans les grignotines, les boissons, les épices, l'imitation fromages, sauces, aliments congelés, viandes en conserve, les analogues de la viande et d'autres aliments a également été en enquête (Hesser, 1994). Traditionnellement, la supplémentation en fibres a mis l'accent sur l'utilisation de broyage sous-produits de grains de céréales. Tous les sous-produits de la mouture de blé, de maïs, de sorgho et d'autres céréales, ainsi que les sous-produits de la mouture humide du maïs et du blé, sont étudiés comme des suppléments de fibres possibles (Matz, 1991). Néanmoins, aux avantages nutritionnels, des farines de blé s'associent des quantités significatives de composés indésirables, tels que les phytates (myo-inositol hexaphosphate) (Lopez et al, 2000; Lopez et al., 2001). La plupart du phosphore inorganique (Pi) présent dans les céréales matures graines (40-80%) sont stockées sous forme de phytates formant des complexes avec des minéraux tels que  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  et réduisent leur biodisponibilité. L'addition de son de blé réduit significativement les propriétés

nutritionnelles des échantillons de biscuits en raison de la présence de l'acide phytique (PA) (Bilgiçi et al. 2007).

Le blé n'est généralement pas considéré comme une source de  $\beta$ -glucane; les niveaux sont généralement moins de 1%. Cependant, les techniques histochimiques spécifiques révèlent une localisation distincte dans l'aleurone et la région sous-aleurone adjacente.

De nombreuses études (McKee et Latner 2000; Philippe et al. 2006; Weickert et Pfeiffer 2007; Rave et al. 2008) ont démontré les effets bénéfiques de la consommation des fibres dans la protection contre les maladies cardiaques et le cancer, la normalisation des taux des lipides sanguins, la régulation de l'absorption du glucose et la sécrétion d'insuline et la prévention de la constipation.

#### e) Les vitamines :

Les vitamines sont définies comme un groupe diversifié de substances organiques essentielles à base d'aliments (relativement petites molécules mais comparable en taille à des acides aminés ou des sucres) qui ne sont pas synthétisées par le corps humain, mais produites par les plantes et les microorganismes. Par conséquent, les vitamines sont des micronutriments qui ont plusieurs rôles essentiels, y compris: (1) leur rôles en tant que coenzymes ou leur précurseurs (niacine, la thiamine, la biotine, l'acide pantothénique, la vitamine B6, la vitamine B12 et feuillages), (2) des fonctions spécialisées comme la vitamine A dans la vision et l'ascorbate en réactions d'hydroxylation distinctes; (3) en tant que composants des systèmes de défense antioxydants (vitamine C et E et certains caroténoïdes), et des facteurs impliqués dans la régulation génétique humaine et de la stabilité génomique (acide folique, la vitamine B12, la vitamine B6, la niacine, la vitamine C, la vitamine E et D) (Paredes-López et Osuna-Castro 2006).

#### f) Les caroténoïdes :

La voie de biosynthèse des caroténoïdes a été bien étudiée chez les bactéries et les plantes. Les caroténoïdes des plantes sont synthétisés à partir des Géranylgeranyldiphosphates (GGPP) dans les plastes. Le phytoène synthase (PSY) catalyse la formation de phytoène (15-cis-phytoène) à partir de deux molécules de GGPP. Le Phytoène est converti en f-carotène par le phytoène désaturase et plus tard en prolycopène par le f-carotène désaturase. Le Carotène cistrans-isomérase catalyse la transisomérisation de prolycopène en tout-trans-lycopène et le lycopènecyclase (LCY) convertit le trans-lycopène en  $\alpha$ -carotène ou  $\beta$ -carotène. L' $\alpha$ - et  $\beta$ -carotène sont convertis en zéaxanthine et lutéine, respectivement par l'hydroxylases (Yonekura-Sakakibara et Saito 2006).

## g) Les minéraux :

### ➤ Le zinc (Zn) :

La concentration moyenne de zinc dans les grains entiers de blé dans divers pays se situe entre 20 à 35mg.kg<sup>-1</sup> (Cakmak et al. 2004). La plupart du zinc se situe dans l'embryon et couche d'aleurone, tandis que l'endosperme a une très faible concentration en Zn (Ozturk et al. 2006).

La carence en zinc est responsable de sévères complications de la santé, y compris les dépréciations de la croissance physique, le système immunitaire et la capacité d'apprentissage, associée à un risque accru d'infections, des dommages de l'ADN et le développement du cancer (Hotz et Brown 2004 ; Gibson 2006 ; Prasad 2007)

### ➤ Le sélénium (Se) :

Le sélénium (Se) est un composant intégral nécessaire pour le métabolisme cellulaire normal chez les êtres humains et les animaux. Le sélénium (Se) est considéré aussi comme un micronutriment essentiel, dans l'alimentation humaine et animale avec des effets antioxydants, anti-cancer et anti-viral (Arthur, 1999).

Le blé est une source alimentaire importante de (Se), la Concentration de ce dernier dans le grain de blé est très variable allant de 0,02 à 0,60 mg.kg<sup>-1</sup> pour la plupart de blé du monde (Alfthan et Neve 1996).

## **6. La production mondiale et nationale des blés:**

### **a. Au niveau mondial :**

Une grande part de la récolte mondiale de blé est produite par une dizaine de pays. Pour la campagne 2010-2011, les cinq plus grands producteurs de blé sont l'Union européenne, la Chine, l'Inde, les Etats-Unis et la Russie, ils représentent 66 % de la production mondiale. L'apparition de l'Inde dans ce groupe est l'unique exception. Cette dernière a multiplié par 8,3 sa production de blé depuis 1960, devenant ainsi le troisième plus grand producteur de blé au monde. (FAO).

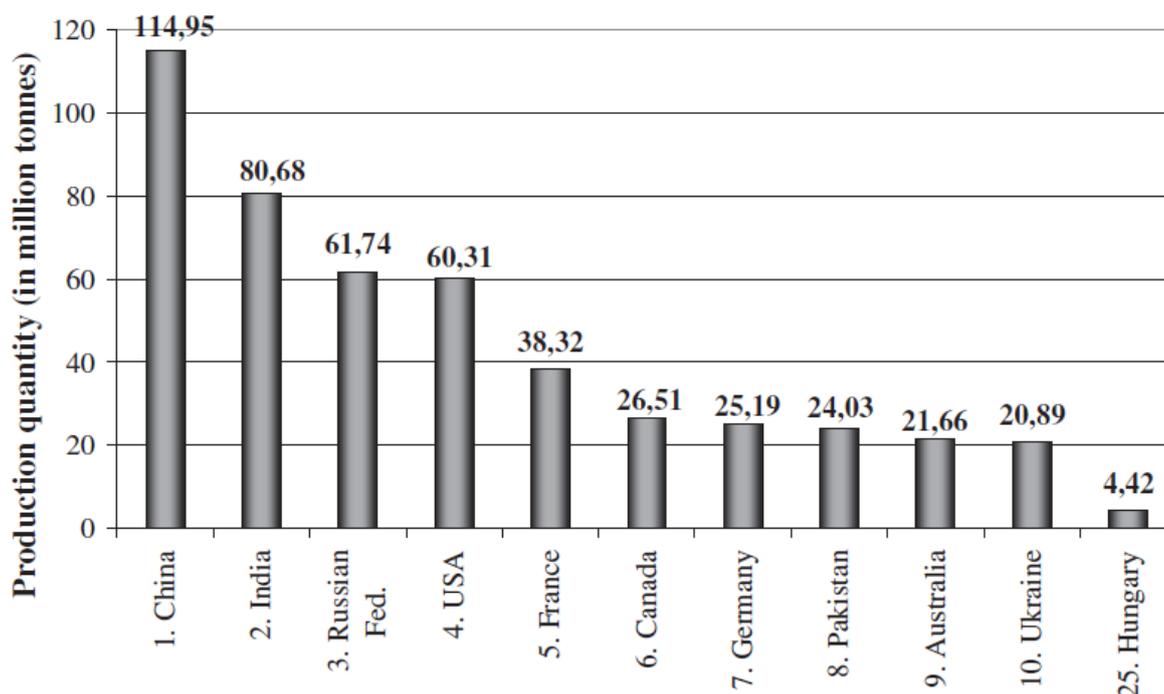


Figure 1: Quantité de la production des 10 premiers pays producteurs du blé dans le monde (source FAO, 2011)

### b. Au niveau national

Dans la période 1996-2004, la superficie des céréales était estimée à près de 5,1 millions d'ha en moyenne. Plus de 43% de cette superficie était réservée à la culture de l'orge, suivie par le blé tendre (35%) puis le blé dur (20%), le reste a été semé en maïs, riz, sorgho, etc. La production des céréales s'élève en moyenne à plus de 58 millions de quintaux. Les blés représentent 64% de la production en céréales suivis de l'orge (31%) et du maïs (3%). Les rendements varient considérablement d'une année à l'autre en fonction des conditions météorologiques et ne reflètent pas les efforts déployés pour intensifier la production ; ils n'ont pas dépassé 12 quintaux / ha en moyenne sur les cinq dernières années, avec 16 quintaux / ha dans le cas du blé tendre.

L'analyse de l'évolution de la production des céréales montre que la part de l'orge a chuté de manière significative d'un peu plus de 50% de la production céréalière en 1980 à 31% en moyenne sur les cinq dernières années (Figure 3). La production du blé dur et du maïs ont également diminué, perdant 7 et 4 points de pourcentage de leur part respectivement. La production du blé tendre a augmenté de façon remarquable, de 11% à 42% de la production totale des céréales au cours de la période sous revue (Akka, 2006)

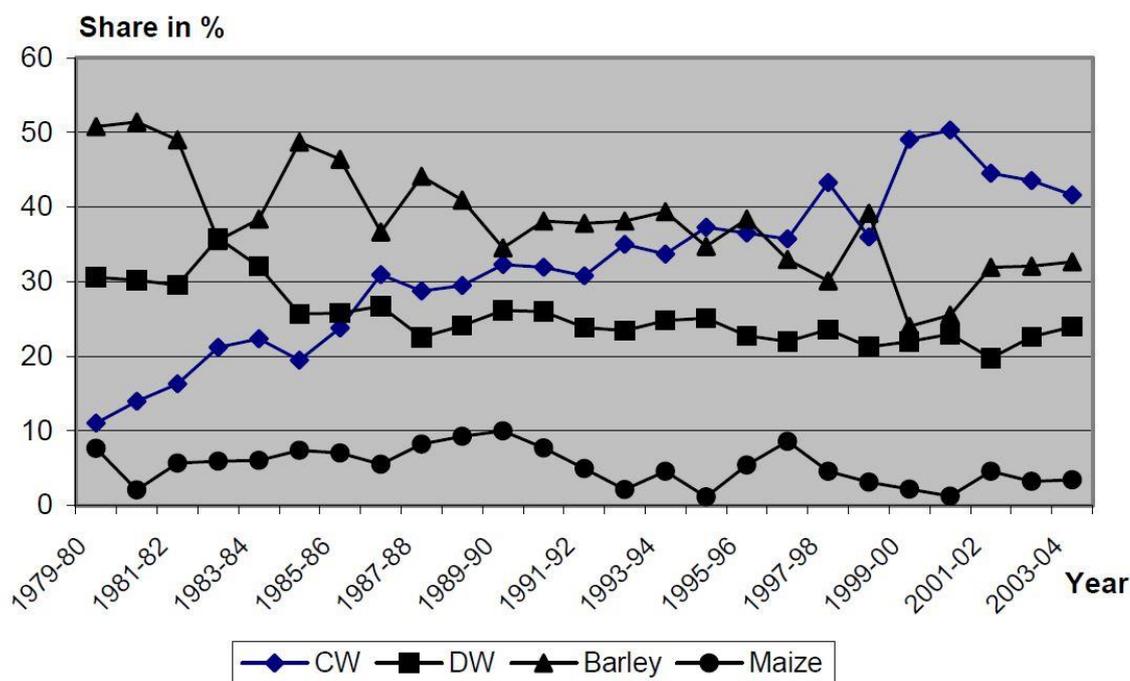


Figure 2 : Evolution de la production nationale des céréales (1979-2004) (Akka, 2006)

## II. Présentation d' Avoine

### 1. Origine :

Selon MALZEW (1930) les avoines annuelles auraient une origine diphyllétique :

— les espèces dites tétraploïdes (phylum des Aristulatae) dont le centre d'origine est la région méditerranéenne occidentale ;

— les espèces hexaploïdes (phylum des Denticulatae) dont le centre d'origine est en Asie Centrale (Mongolie) les avoines cultivées ayant été introduites en Europe comme mauvaise herbe dans l'amidonner. Aucune certitude n'existe cependant, quant à la filiation exacte des trois groupes chromosomiques et des espèces qui les composent. Selon TRABUT et MALZEW on aurait la filiation :

*A. fatua* - *A. sativa* - *A. nuda* - *A. sterilis* —► *A. byzantine*.

Selon COFFMAN (1946), par contre, l'on aurait la filiation :

*A. sterilis* - *A. byzantins* — *A. sativa* —> *A. fatua*.

## 2. Taxonomie :

Selon la classification classique l'avoine appartient à:

**Classe :** *Liliopsida*

**Ordre :** *Cyperales*

**Famille :** *Poaceae* (graminées)

**Genre :** *avena*

**Espèce :** *avena sativa* (linné.1753)

## 3. Description morphologique de la plante :

L'avoine est une plante annuelle, aux racines fasciculées abondantes et aux chaumes genouillés, dont la longueur varie entre 50 et 200 cm. Les feuilles habituellement glabres ont une largeur variant entre 2 et 8 mm. La sommité fleurie (inflorescence) prend la forme d'une panicule d'une longueur de 12 à 20 cm aux rameaux inégaux et étalés en tous sens. Les fleurs sont arrangées en épillets mesurant entre 16 et 24 mm de longueur à pédoncules barbus, retombants et protégés par deux glumes nervurées presque égales et dépassant la fleur. (Sherbrooke, 2004)

### a) Appareil végétatif.

Au stade herbacé, l'avoine cultivée se distingue des autres céréales par:

- un feuillage d'un vert bleuté assez foncé, très différent du vert clair de l'orge;
- la présence, à la base des limbes, d'une ligule sans oreillette;
- un tallage plus faible que celui de l'orge (à type et stade de développement équivalent);
- un système racinaire pseudofasciculé, plus profond que celui de l'orge et du blé. (Sherbrooke, 2004)

### b) Inflorescence.

L'inflorescence est une panicule, c'est-à-dire une grappe d'épillets portés par de longs pédoncules ou racèmes disposés en demi-verticilles. Chaque épillet est composé, suivant la structure propre aux

graminées, de deux glumes multinervées (glume inférieure et glume supérieure), d'un axe ou rachillet porteur de deux à trois fleurs entourées de leurs glumelles. Ces fleurs donnent par autofécondation quasi absolue deux à trois grains. (Sherbrooke, 2004)

### **c) Grain.**

Il est formé d'un caryopse velu ou amande et des deux glumelles non adhérentes de la fleur qui lui a donné naissance. A maturité, ces glumelles sont soit blanches, soit colorées en noir, jaune, gris ou roux. La glumelle inférieure de chaque grain peut porter une arête La base du grain, après séparation de l'axe de l'épillet, laisse apparaître une plage plus ou moins large ou cicatrice. Enfin, l'entre-noeud du rachillet resté attaché au grain qui lui est juste inférieur forme la baguette (Sherbrooke, 2004).

## **4. Importance et utilisation d'avoine :**

En alimentation animale, cette céréale à paille est utilisée principalement pour son grain ou comme fourrage pour les ruminants lorsqu'elle est récoltée à l'état vert. Les grains sont surtout consommés par les chevaux et conviennent bien aux volailles, alors que sa paille sert habituellement de litière. L'avoine est, en outre, utilisée dans l'alimentation humaine depuis à peine 150 ans et son principal avantage est son contenu en fibres solubles. C'est la céréale la plus riche en lipides, principalement en acides gras insaturés. De nos jours, les épiceries détaillent le son, la farine, les grains entiers ou concassés, et les flocons d'avoine. Dans l'industrie chimique, le son d'avoine sert à produire le furfural, un solvant utilisé dans la fabrication de nombreux produits industriels, notamment le nylon, des huiles lubrifiantes, des résines et des fongicides. (Sherbrooke, 2004)

Par ailleurs, depuis le XVI<sup>e</sup> le siècle au moins, les herboristes utilisent l'avoine pour soulager divers maux dont la fatigue, les troubles nerveux, la dépression, l'insomnie, les rhumatismes, la gale et la lèpre. Des infusions de flocons d'avoine sont utilisées pour stimuler l'appétit et atténuer les douleurs à la gorge et au thorax. Il a aussi été démontré que les grains et le son d'avoine peuvent contribuer à prévenir les maladies coronariennes et les troubles cardiovasculaires. Les grains entiers d'avoine aident à abaisser le taux de glucose sanguin et contiennent le  $\beta$ -sitostérol, un composé anti-tumeur. Il a été, de plus, reconnu l'efficacité de la paille d'avoine pour traiter les maladies de la peau caractérisées par de l'inflammation, de la séborrhée et des démangeaisons (Blumenthal, 2000). En outre, l'avoine entre depuis plus de 100 ans dans diverses préparations pour les soins du corps : crèmes, onguents, savons, shampooings et autres produits cosmétiques. Les parties de l'avoine utilisées à des fins médicinales sont :

- 1- le grain entier décortiqué, en flocons, en semoule ;
- 2- la paille débarrassée de ses feuilles, hachée et exempte de toute trace de saleté et de maladie fongique ;
- 3- les sommités fleuries fraîches destinées à subir une extraction des principes actifs sous forme de teinture ;
- 4- les sommités fleuries séchées.

L'avoine est également beaucoup utilisée en agriculture. Elle peut servir, entre autres, d'engrais vert ou de plante- abri. En production maraîchère, les extraits de paille d'avoine préviendraient les attaques de la chrysomèle rayée du concombre (Duke, 1983), un insecte ravageur qui s'attaque aux jeunes pousses et aux fleurs des cucurbitacées.

## **5. Composition chimique et valeur nutritive :**

Grâce à sa composition chimique particulière et ses valeurs nutritives et physiologiques, le grain d'avoine est l'objet d'études approfondies. Le grain d'avoine est caractérisé par un bon goût, propriétés diététiques et une activité de stimulation des changements métaboliques dans le corps. Tout cela fait de sa haute valeur nutritive pour les Hommes et les animaux (Marque et Merwe, 1996 ; Lia et al. 1997; Peltonen-Sainio et al, 2004; Peterson, 2004).

En comparaison avec d'autres céréales, le grain d'avoine nue est caractérisé par une plus grande quantité de protéine totale et de matières grasses brutes et une plus petite quantité de fibres brutes. Le trait caractéristique de la protéine est sa bonne composition en acides aminés à valeur nutritive élevée. Un haut niveau de graisse est une bonne source d'acides gras insaturés essentiels. Des études menées par La Marque et Merwe (1996) et Petkov et al. (2001) ont prouvé que les cultivars d'avoine nue ont une valeur nutritive de protéines supérieures à celle d'autres céréales, bien que la lysine soit encore l'acide aminé limitant.

L'avoine contient cependant des quantités relativement importantes de lipides. un tiers des lipides sont de type polaires (phospho et des galacto-lipides). (Eliasson et Larsson, 1993). (Wioletta BIELI, 2010)

## 6. Production mondiale et nationale :

### a) Au niveau mondial :

La Russie, le Canada, les États-Unis, les 27 États de l'Europe Union européenne (UE), et l'Australie représentent, en moyenne, 77% de l'approvisionnement mondial de l'avoine à grains, (Tableau 1). Alors que la Russie reste le plus grand producteur d'avoine dans le monde entier, à 20% de la production mondiale totale, la majeure partie de la production de la Russie est consommée sur les fermes. Environ les deux tiers de production mondiale sont utilisés pour l'alimentation animale et un tiers pour la consommation humaine (Strychar, 2009).

Tableau 1 : Production mondiale d'avoine en milliers tonnes et le pourcentage mondiale (Strychar, 2009) (Source : U.S. Department of Agriculture)

Country	Crop Year									Percent of World Total
	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	
EU-27 <sup>c</sup>	8,783	8,491	9,680	9,019	9,146	7,968	7,768	8,823	8,952	34
Russian Federation	6,000	7,700	5,700	5,200	4,950	4,550	4,900	5,400	5,400	20
Canada	3,389	2,691	2,911	3,377	3,467	3,283	3,852	4,700	4,300	15
United States	2,165	1,707	1,684	2,096	1,679	1,667	1,359	1,330	1,287	7
Australia	1,050	1,434	957	2,018	1,283	1,690	748	843	1,400	5
Ukraine	881	1,116	943	925	1,000	800	700	550	800	3
Belarus	495	530	575	500	770	600	550	600	900	2
China, People's Republic of	600	600	600	600	600	600	600	600	600	2
Brazil	330	277	390	413	433	517	475	475	475	2
Argentina	645	645	500	348	508	350	400	470	500	2
Chile	345	416	420	425	425	420	380	380	380	2
Norway	397	330	279	333	359	360	360	360	360	1
Turkey	314	265	290	285	290	290	290	290	290	1
Kazakhstan, Republic of	80	218	100	100	140	140	140	160	160	1
Mexico	30	90	65	95	75	80	80	80	80	0
Others	473	523	505	525	542	546	563	537	537	2
World	25,977	27,033	25,599	26,259	25,667	23,861	23,165	25,598	26,421	100

### b) Au niveau national :

Au Maroc, la culture d'avoine s'étend chaque année sur 99 000 ha. Elle est cultivée dans le Bour favorable et intermédiaire en culture pure (86 288 ha) ou en mélange avec la vesce (12 953 ha). La forme cultivée d'avoine au Maroc est l'avoine commune hexaploïde *A. sativa* L. ( $2n = 6x = 42$ ) (Saidi N. et SalihIdrissi A).

Les statistiques récentes ont montré que les superficies des dix dernières années ont subi une régression de la culture en mélange au dépend de la culture pure. Ainsi, la superficie de la culture

pure est de 80000 ha et celle des mélanges 12953 ha en 2006 (Saidi et Al faiz, 2008).l'avoine est classée la troisième culture fourragère après la luzerne et l'orge ;

Elle contribue de 36% à la production fourragère totale (Saidi et Alfaiz, 2008)

## **7. Valorisation de la farine de l'avoine :**

La consommation d'avoine est considérée comme ayant des avantages importants pour la santé. L'enrichissement des nouilles blanches salées avec de la farine d'avoine peut procurer un avantage potentiel pour la santé, mais peut affecter la texture et la qualité sensorielle. Les Cultivars d'avoine cultivés en Australie occidentale (Yallara, Kojonup, Mitika, Carrolup, la nouvelle lignée (SV97181-8) et une variété d'avoine commerciale ont été broyés et ajoutés à la farine du blé à 10, 20, et 30% pour produire des nouilles blanche salées enrichies d'avoine. Le but de l'étude était de déterminer les caractéristiques de qualité des farines d'avoine et d'évaluer l'influence des mélanges de farine d'avoine sur la texture des nouilles, la couleur et les caractéristiques sensorielles; Les résultats indiquent que la teneur en cendres, en protéine et la fermeté des nouilles s'accroissent avec l'augmentation du pourcentage de farine d'avoine dans les formulations des nouilles, tandis que les propriétés de collage des mélanges de farine nouilles de blé -avoine ne diffèrent pas significativement. La couleur des feuilles de nouilles premières et nouilles bouillies change de manière significative avec l'incorporation d'avoine et a abouti à une légèreté / luminosité inférieure, rougeurs supérieur, jaunissement inférieur, et la stabilité de couleur inférieure en comparaison avec le blé standard nouilles blanches salées. Les nouilles faites avec le pourcentage d'avoine plus bas (10%) sont meilleures pour tous les paramètres sensoriels et étaient significativement différentes en apparence, la couleur et l'acceptabilité globale par rapport aux nouilles faites avec 20 et 30% de farine d'avoine. La teneur en  $\beta$ -glucane de la farine des mélanges augmentait avec l'augmentation du niveau d'incorporation d'avoine mais par la suite diminuait au cours du traitement en nouilles. La diminution de la teneur en  $\beta$ -glucane varie entre les différents cultivars d'avoine et des taux d'incorporation dans les nouilles. Un nouveau cultivar d'avoine, SV97181-8, présentait le moins de perte en  $\beta$ -glucane pendant le traitement. Dans cette étude, les caractéristiques de qualité des nouilles blanches salées enrichies avec de la farine d'avoine de cultivars australiens occidentaux étaient déterminées pour fournir des informations essentielles pour le développement commercial. (Sabori Mitra, 2012).

## **8. Intérêt et Importance de l'utilisation de l'avoine dans la farine commerciale du blé :**

Les Produits de boulangerie sont le troisième composant le plus important des régimes alimentaires de base [Cichon&Miœniakiewicz, 2001]. Leur valeur nutritionnelle varie et dépend des recettes utilisées dans leur production. En Pologne, des farines constituées de mélanges de blé et de seigle blanc sont le plus fréquemment utilisées pour la panification, même si elles sont déficientes en nutriments précieux présents dans le manteau et couche d'aleurone du grain. Par conséquent, les produits de boulangerie devrait être modifiés avec divers additifs pour équilibrer leur qualité nutritionnelle et de compenser la perte de nutriments [Szajewska *et al.* 2001].

La céréale qui attire beaucoup d'intérêt dans ce contexte en raison de sa valeur nutritionnelle est l'avoine. Son grain est riche en protéines et en fibres alimentaires et sa teneur en acide gras est favorable [Liukkonen et al. 1992]. L'étude de Wieser et al. [1980] a montré que la farine d'avoine est beaucoup plus riche en protéines que les farines du blé, seigle, orge, riz, maïs et sorgho. La teneur en lipides moyenne de grain d'avoine atteint 5-9%, triacylglycerols avec un fort pourcentage des acides gras insaturés constituant la fraction principale [Kawka, 1996]. Anderson Ponts, al [1993] ont souligné l'importance profonde des fibres alimentaires solubles dans l'eau à la farine d'avoine et son du blé.

D'après leurs résultats, l'incorporation des produits d'avoine dans un régime humain abaisse le taux de cholestérol dans le sang. Effet plus bénéfique sur leur qualité, par rapport à la farine du blé.

Ainsi, les produits d'avoine peuvent être considérés comme des additifs précieux aux farines de blés. Cependant, ils peuvent également affecter diversement la qualité du produit cuit en raison de divers facteurs tels que la qualité de la farine du blé, le type et la quantité de produits de l'avoine. (Anna Czubaszek, 2005)

## *Chapitre 2: Matériels et méthodes*

Dans le présent chapitre, une description de la méthodologie et du matériel utilisé sera détaillé pour répondre aux objectifs de cette étude.

## **I. Matériel végétal :**

### **1. Le blé :**

Les graines de trois variétés marocaines de blé ; deux de blé tendre « Kharrouba » et « Kenz » et une de blé dur « Louiza » inscrites au catalogue officiel ont été sujettes aux différentes analyses durant notre travail.

### **2. L'avoine :**

Les graines de trois lignées avancées d'avoine hexaploïdes ont été utilisées.

## **II. Préparation des mélanges blé /avoine :**

Six types de moutures complètes obtenues à l'aide du broyeur de laboratoire « UDY-Cyclone » ont été utilisées dans cette étude :

-Trois moutures de blé issues des deux variétés de blé tendre Kharrouba (BT1) et Kenz (BT2) et de la variété de blé dur « Louiza » (BD)

-Trois moutures d'avoine issue des lignées F11-1(L1), F15-3(L2) et F11-2(L3) Tous les échantillons ont été conditionnés à la même humidité (14%) avant la mouture.

Des mélanges / combinaisons entre les différentes moutures d'avoine et de blé ont été réalisées à des pourcentages d'avoine variables 10%, 30% et 50%.

Deux répétitions ont été faites pour chaque échantillon analysé

## **III. Evaluation de la qualité du Mélange blé /avoine :**

### **1. Qualité nutritionnelle :**

#### **a) Matière sèche :**

C'est l'expression de la valeur nutritive d'un aliment après évaporation forcée de toute l'eau qu'il renferme. Elle sert à comparer la valeur nutritive d'aliments ayant des teneurs en eau différentes. (AOAC, 1990)

### **Mode opératoire :**

Il consiste à introduire 3g de mouture obtenue par broyage de grains à 1 mm bien homogénéisée dans un creuset en porcelaine, puis à sécher à l'étuve à T=105°C pendant 24h, puis les sortir et les mettre dans un dessiccateur pour éviter que les échantillons absorbent l'humidité de l'air, et ensuite peser.

### **Expression des résultats :**

Soit :

$$MS\% = ((T+PS) - T) / ((T+PF) - T) * 100$$

T : tare

PS : poids sec

PF : poids frais

### **b) Analyse du taux des bêta glucanes : (Mc CLEARY, 2006)**

#### **Principe :**

Les échantillons sont suspendus et hydratés dans une solution de beurre de pH 6,5 et ensuite incubées avec l'enzyme purifiée lichénées et filtrée. Un aliquote du filtrat est hydrolysé à l'achèvement de  $\beta$ -glucosidase purifiée. Le D-glucose produit est dosé en utilisant un glucose oxydase / peroxydase réactif.

### **Mode opératoire :**

Après le broyage avec un tamis de 0.5 mm, on a pesé entre 80-120mg de farine, puis on suit les étapes suivantes :

- Ajouter 0.2ml de l'éthanol aqueux (50%v/v) à la farine dans un tube de 50ml. Ajouter 4ml de tampon phosphate de sodium (20 mM, pH 6,5). Puis agiter au vortex.
- Incuber les échantillons dans un bain marie à 100 °c pendant 60s.
- Agiter puis incuber encore une fois dans un bain marie à 100 °c pendant 2 min.
- Agiter puis incuber encore une fois dans un bain marie à 50 °c pendant 5min.

- Ajouter 0.2ml de lichénase et agiter.
- Incuber dans un bain marie à 50 °c pendant 1h en agitant 4 fois pendant cette incubation.
- Ajouter 5ml de tampon d'acétate de sodium (200 mM, pH 4).
- Agiter, équilibrer les tubes 5 min à 25°c puis centrifuger les pendant 10 min (1000g).
- Filtrer à l'aide de papier wattman.
- Récupérer l'aliquote, ensuite dans 3 tubes on y verse 0.1 ml de ce dernier, puis dans les deux premiers tubes on ajoute 0.1 ml de béta-glucosidase, pour le troisième tube on ajoute 0.1 ml de tampon d'acétate de sodium (50 mM, pH 4,0). En plus de ces 3 tubes un blanc ainsi que 2 autres tubes sont associés, le blanc est composé de 0.1 ml d'eau distillé ainsi que 0.1 ml du tampon, les deux autres sont composés 0.1 ml de D-glucose ainsi que 0.1 ml de tampon d'acétate de sodium (50 mM, pH 4,0).
- Incuber les tubes dans un bain marie à 50 °c pendant 10min.
- Ajouter 3 ml de GOPOD à tous les tubes.
- Incuber les tubes dans un bain marie à 50 °c pendant 20min.
- Enfin lire l'absorbance à 510 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

**Expression des résultats :**

$$\begin{aligned} \beta\text{-glucane (\% w/w)} &= \Delta_A \times F \times (94 \text{ ou } 64) \times \frac{1 \times 100 \times 162}{1000 \times W \times 180} \\ &= \Delta_A \times \frac{F}{W} \times 8,46 \text{ (ou } 5,76) \end{aligned}$$

**Où :**

$\Delta_A$  = Absorbance après le traitement  $\beta$ -glucosidase.

F = facteur de conversion des valeurs d'absorbance en  $\mu$ g de glucose.

= 100( $\mu$ g de D-glucose) / (absorbance de 100 $\mu$ g de D-glucose).

94= facteur de correction de volume (0.1 ml sur 9.4 ml analysée pour des échantillons céréales).

64= facteur de correction de volume (0.1 ml sur 6.4 ml analysée pour des produit céréaliers cuits, grillés ou extrudés).

1 /1000=conversion du µg au mg.

100/w= poids sec calculée d'échantillon analysée en mg.

162/180= facteur de conversion à partir de D-glucose libre, tel que déterminé, en anhydro D-glucose, comme se produit dans β-glucane.

**NOTE :**

Ce calcul peut être simplifié en utilisant le Megazyme **MegaCalc™**, téléchargeable à partir du site Megazyme où le produit apparaît ([www. Megazyme.com](http://www.Megazyme.com)).

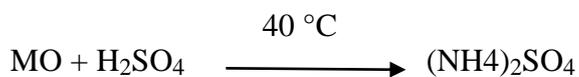
**c) Dosage des protéines : (AOAC, 1990)**

Les protéines contiennent de l'azote, leurs teneurs dans les aliments sont déterminés par la méthode de Kjeldahl.

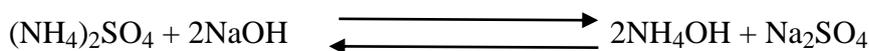
**Principe :**

Selon la méthode de Kjeldahl, ce dosage s'effectue en trois étapes :

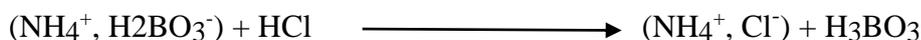
**La minéralisation :** Elle consiste à transformer l'azote protéique en azote ammoniacal par oxydation de la matière organique selon la réaction suivante :



**La distillation :** consiste à distiller l'ammoniac par la vapeur d'eau et le piéger dans une solution d'acide borique. L'ammoniac réagit avec l'acide borique pour former des sels borates d'ammonium. Cette étape s'effectue selon les réactions suivantes :



**Titrage :** L'ammoniac sous la forme de borates d'ammonium est titré directement à l'aide d'HCl et d'un indicateur :



### **Réactifs :**

- ✓ Catalyseur azoté (sulfate de potassium  $K_2SO_4$ , sulfate de cuivre  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  et sélénium en poudre Se).
- ✓ Acide sulfurique.
- ✓ Soude caustique (NaOH 50%).
- ✓ Acide borique.
- ✓ Indicateur TASHIRO (bleu de méthyl + rouge de méthyl).
- ✓ Acide chloridrique HCl 0.1N.

### **Mode opératoire :**

Peser 0,75g d'échantillon broyé et tamisé, dans du papier joseph sec pour éviter que la poudre de l'échantillon ne reste sur la paroi du tube, et l'introduire dans le tube à minéralisation sec.

Ajouter environ 2g de catalyseur (sulfate de potassium  $K_2SO_4$ , sulfate de cuivre  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  et sélénium en poudre Se) et des pastilles en verre pour faciliter l'ébullition puis 10ml d'acide sulfurique ( $d= 1,84$ ).

Placer les tubes dans l'appareil de minéralisation et les chauffer doucement pendant une minute ensuite augmenter le chauffage jusqu'à apparition de la couleur verdâtre.

Continuer le chauffage pendant une heure, puis laisser refroidir les tubes.

Ajouter doucement dans le tube environs 100ml d'eau distillée et le placer dans l'appareil de distillation. Ajouter 80ml de soude caustique (NaOH 50%), récupérer la vapeur après avoir placé à la sortie du distillat, un bêcher de 250ml de capacité, contenant l'acide borique à 4%(m/m) additionnée de quelques gouttes de l'indicateur de TASHIRO.

Recueillir 150 ml de distillat est titré avec de HCl 0.1N.

Insérer dans chaque série de tube un blanc qui ne contient pas d'échantillon et le traiter de la même façon que les échantillons.

### **Expression des résultats :**

$$\text{MAT (\%)} = ((V_e - V_b) * 0.875 / (P_e * MS)) * 100$$

Ve : volume de l' HCl 0,1 N ajouté

Vb: volume du blanc

Pe: poids d'échantillon (prise d'essai)

MS%: matière sèche en pourcentage

#### **d) Analyse de la composition minérale:**

La composition minérale de l'échantillon se fait par le dosage de chaque élément minéral:

##### **Préparation de l'échantillon:**

- Peser 1g d'échantillon finement broyé, tamisé et minéralisé à 500°C pendant une nuit.
- Ajouter 2ml d'HCL plus 2ml d'eau distillée et laisser pendant 2 à 4h
- Filtrer avec l'eau distillée dans une fiole de 100ml et jauger à 100ml.

##### **➤ Dosage de potassium : (Van Rast, 1999)**

##### **Principe:**

La détermination du potassium permet de connaître les réserves en cet élément dans l'échantillon.

##### **Mode opératoire:**

Le dosage de potassium se fait à l'aide d'un appareil flamephotomètre CL378. la teneur en potassium est exprimé en mg/kg(MS) ou mg/100g du poids sec.

##### **Expression des résultats:**

$$K^+ = (L * 100) / MS$$

L : lecture en flamophotomètre

MS : matière sèche dans un kg.

##### **➤ Dosage de fer: (Pinta, 1976)**

Le dosage de fer se fait à l'aide d'un appareil d'absorption atomique VARIAN 220. la teneur en fer est exprimé en mg/kg (MS) ou mg/100g poids sec.

**Expression des résultats:**

$$\text{Fe} = (a * 100) / \text{ms}$$

a : l'absorption atomique.

MS : matière sèche dans un kg.

➤ **Dosage de zinc : (Pinta, 1976)**

Le dosage de zinc se fait à l'aide d'un appareil d'absorption atomique VARIAN 220. La teneur en zinc est exprimée en mg/kg(MS)

**Expression des résultats:**

$$\text{Zn} = (a * 100) / \text{MS}$$

a : l'absorption atomique.

MS: matière sèche dans un kg.

**2. Qualité technologique:**

**a.1- Analyse de la teneur en pigments jaunes :**

**Principe:**

Le principe est l'extraction des pigments bêta-carotènes au n-butanol saturé en eau, à la température ambiante, puis la lecture de la densité optique au spectrophotomètre à 435.8 nm.

**La norme marocaine NM08.1. 216 1999) a été adoptée**

### **Mode opératoire:**

Peser 8g de la farine et la placer dans un erlenmeyer de 100ml, puis ajouter 40 ml de n-butanol saturé en eau.

Boucher l'erlenmeyer et agiter pendant 1min de façon à obtenir une suspension homogène et laisser reposer à la température ambiante et à l'abri de lumière pendant 18 heures.

Après la fin de cette extraction homogénéiser à nouveau le contenu de l'erlenmeyer, puis filtrer complètement à travers le papier filtre dans un erlenmeyer de 100ml. Pour éviter les pertes de solvant par évaporation placer l'entonnoir sur l'erlenmeyer et le recouvrir avec une boîte de pétri, ensuite prélever un aliquote filtrat clair à l'aide d'une pipette puis remplir la cellule du spectrophotomètre et mesurer la densité optique à 435.8nm.

Utiliser le n-butanol saturé en eau et non filtré pour le réglage comme blanc pour le réglage du spectrophotomètre

### **Expression des résultats:**

La teneur en pigments C exprimés en microgramme caroténoïde par gramme de matière sèche du produit est obtenue par la formule suivante:

$$C = (5 \times A / e \times k) \times (100 / (100 - H))$$
$$= 30.1 \times A \times (100 / (100 - H))$$

C : teneur en pigment exprimé en ppm par matière sèche.

A : absorbance à 435.8 nm.

e : chemin optique (largeur interne de la cellule).

K : 0.16632 (absorptivité pour 1mg de pigment dans un litre n-butanol saturé en eau dans une cellule d'épaisseur 1 cm, à une longueur d'onde de 435.8 nm).

H : humidité de l'échantillon en %.

#### **a.2- Analyse des paramètres de couleur par colorimétrie :**

La mesure des paramètres de couleur étaient effectuées sur les moutures à l'aide du colorimètre Minolta CR-400 (Konica Minolta, Ramsey, NJ, USA). La clareté « L\* » qui représente la

luminance a été alors déterminée pour les différents échantillons. Un blanc d'étalonnage a été utilisé pour calibrer l'équipement avant son utilisation.

### **a.3- Analyse de la qualité de gluten par SDS :**

La force du gluten a été estimée par l'indice de sédimentation au Sodium Dodecyl Sulfate en adoptant la norme marocaine, NM, 08, 1, 217, 1999)

Un indice de sédimentation élevé représente une haute qualité de gluten.

#### **Définition:**

L'indice de sédimentation au Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) est le nombre indiquant le volume exprimé en millilitres, du dépôt obtenu, dans des conditions spécifiées, à partir d'une suspension de mouture entière, dans une solution de SDS et de l'acide lactique.

#### **Principe:**

La mouture entière préparée à partir des blés et d'avoine, dans des conditions spécifiées de broyage et de tamisage est mise en suspension dans une solution de SDS-acide lactique. Après des temps d'agitations et des temps de repos définis, on lit le volume du dépôt résultant de la sédimentation des particules de farine.

#### **Réactifs:**

L'eau utilisée pour la préparation des solutions doit être distillée ou avoir une pureté équivalente (moins de 2 mg/l de matières minérales).

- ✓ Sodium Dodecyl Sulfate : de pureté supérieure à 99 %
- ✓ Acide lactique concentré à 85 %
- ✓ Hydroxyde de sodium (NaOH 0,1 N)
- ✓ Phénophtaléine
- ✓ Préparation de la solution d'acide lactique :

Diluer 100 ml d'acide lactique dans 800 ml d'eau distillée. Porter la solution diluée à ébullition et la maintenir sous reflux durant 6 h. Puis préparation du réactif SDS-acide lactique

Dissoudre 30 g  $\pm$  0, 2 g de SDS dans 970 ml d'eau distillée pour avoir une solution SDS à 3 %. Ajouter 20 ml  $\pm$  0, 1 ml de la solution d'acide lactique 1, 2 N au SDS 3 % et mélanger intimement.

### **Mode opératoire:**

Mettre 6.3 g de farine dans l'éprouvette, puis ajouter 50ml du bromophénol dissous dans l'eau distillé en suite agité manuellement (position horizontale) pendant 5s (12 fois de chaque direction) après:

- 0 min placer l'éprouvette dans l'agitateur et déclencher le chrono.
- 2ème min agité pendant 15 s.
- 4ème min agité pendant 15 s.
- 6ème min agité pendant 15 s et retire les éprouvettes et ajouter 50ml des SDS.
- 0 min agiter pendant 15 s après avoir déclencher le chrono.
- 2ème min agité pendant 6 s.
- 4ème min agiter pendant 6 s puis retirer les éprouvettes et les mettre en position horizontale.
- Après 20min, lire la valeur qui égale le volume de sédimentation.
- Relever la température du liquide de sédimentation et corriger le

### **Expression des résultats:**

Le volume corrigé en millilitre représente l'indice de sédimentation par test SDS sédimentation.

## **IV. L'analyse statistique :**

Les résultats ont été exprimés sous forme de moyenne, et ont été soumis à une analyse de la variance et une comparaison multiples de moyennes en utilisant le logiciel SAS (statistical analysis system).

## *CHAPITRE 3: RÉSULTATS ET DISCUSSION*

## 1. Qualité nutritionnelle :

Tableau 2 : Tableau d'ANOVA des différents paramètres nutritionnelles.

<b>Caractère</b>	<b>Béta Glucane</b>	<b>Protéine</b>	<b>Potassium</b>	<b>Fer</b>	<b>Zinc</b>
<b>Probabilité</b>	1560,55***	12,77***	9,79***	8,97***	7,26***
<b>Moyenne</b>	1,44	15,6	344,36	6,06	3,51
<b>Coefficient De Variation</b>	1,83	0,94	7,18	8,5	10,31

\*\*\*: différence très hautement significative  $p < 0.001$ .

L'analyse statistique des données a révélé des différences très hautement significatives entre les différents échantillons pour les paramètres nutritionnelles.

**a) Teneur en béta glucane :**

Tableau 3: Moyennes de la teneur en béta glucane en pourcentage des échantillons testés

	Groupes	moyennes	Echantillons
	A	3.53000	L2
	B	3.25000	L3
	C	2.66500	L1
	D	2.35500	(L2*BT1)50
	E	2.19000	(L2*BD)50
	F	2.01000	(L2*BT2)50
	G	1.91500	(L3*BT1)50
	H	1.86000	(L3*BD)50
	I	1.79500	(L3*BT2)50
	J	1.74000	(L1*BT2)50
	J	1.72000	(L1*BD)50
	K	1.63000	(L1*BT1)50
	L	1.53500	(L2*BT1)30
	M	1.40000	(L3*BT1)30
	N M	1.36000	(L2*BD)30
	N	1.31500	(L3*BD)30
	O	1.24500	(L3*BT2)30
	O	1.23000	(L1*BD)30
	P O	1.20850	(L1*BT2)30
	P O	1.19000	(L2*BT2)30
	P	1.16000	(L1*BT1)30
	Q	1.05900	(L2*BT1)10
	Q	1.02300	(L2*BD)10
	Q	1.01400	(L2*BT2)10
	Q	1.01350	(L3*BT1)10
	Q	1.01000	(L3*BD)10
	R	0.94800	(L3*BT2)10
	S	0.74300	(L1*BT1)10
	S	0.72450	(L1*BD)10
	S	0.70550	(L1*BT2)10
	T	0.57700	BT1
	U	0.39100	BD
	V	0.31700	BT2

Pour les blés : la variété du blé tendre kharouba (BT1) présente une teneur en bêta glucane de 0.58%, suivi par le blé dur avec 0.39% et le blé tendre Kenz avec une teneur plus faible de bêta glucane de 0.32% (Tableau 3).

Concernant l'avoine, une différence entre les trois lignées est notée, la lignée L2 présente la teneur la plus élevée en bêta glucane (3.53%) en se différenciant significativement de tous les échantillons testés, suivi par la lignée L3 avec une teneur de 3.25% puis de la lignée L1 avec une teneur de 2.67%.

Les lignées d'avoine ont une teneur plus élevée en bêta glucane par rapport aux variétés des blés et aux mélanges. Ceci est expliqué par la richesse d'avoine en bêta glucane.

Ce résultat est en concordance avec les résultats de l'étude de (Beer, 1998) qui a montré que parmi les céréales, l'orge et l'avoine qui sont très riches en bêta glucane enregistrent des valeurs respectives de (3% à 11%) et de (3% à 7%).

Pour les mélanges : le mélange (L2\*BT1) (groupe D) et (L2\*BD) (groupe E) à 50% présente une supériorité par rapport aux autres mélanges et aux blés, ce mélange présente une teneur en bêta glucane proche de la lignée L1, suivi par les mélanges de 30% et les mélanges 10%, ces derniers sont plutôt proches des variétés des blés. Ce mélange (L2\*BT1) présente la teneur la plus élevée grâce à la fortification par l'avoine à 50 % qui est riche en bêta glucane qui entraîne l'augmentation de cette fibre dans ce mélange.

La fortification du blé par l'incorporation d'avoine à différents pourcentages 10, 30, 50% a entraîné une augmentation de cette teneur dans les mélanges, et cette teneur est proportionnelle avec les pourcentages, par conséquent l'amélioration de la qualité nutritionnelle du blé tendre et blé dur.

## b) Dosage des protéines:

Tableau 4 : Moyennes du taux de protéine en pourcentage des échantillons testés.

Groupes		Moyennes	Echantillons
	A	16.4450	(L2*BT2)30
	A	16.4200	(L3*BT2)30
	A	16.3000	(L3*BT2)10
	A	16.1750	(L1*BT2)10
	A	16.1450	BT2
B	A	16.1100	(L2*BT2)10
B	C	15.8250	(L2*BT2)50
B	C	15.8000	(L1*BT2)50
D	C	15.7650	(L3*BT1)30
D	C	15.7500	(L1*BT2)30
D	F	15.6950	(L1*BT1)50
G	D	15.6300	(L3*BT2)50
G	D	15.5900	L1
G	D	15.5750	(L3*BD)30
G	D	15.5400	(L2*BD)10
G	D	15.5350	(L2*BT1)30
G	D	15.5150	(L2*BD)30
G	D	15.5100	BD
G	L	15.4950	BT1
G	L	15.4150	(L2*BT1)50
G	L	15.4050	(L3*BT1)10
G	L	15.3950	(L1*BD)10
G	L	15.3850	(L2*BD)50
G	L	15.3350	(L1*BD)50
G	L	15.3150	(L3*BD)10
G	L	15.2750	(L1*BT1)10
L	K	15.2700	(L3*BT1)50
L	K	15.2500	(L3*BD)50
L	K	15.2200	L3
L	K	15.2100	(L1*BD)30
L	K	15.2100	L2
L	K	15.1600	(L2*BT1)10
L		15.1450	(L1*BT1)30

Le blé tendre kenz (BT2) a une teneur en protéine de 16.15%, se différenciant significativement, des blés kharouba (BT1) et Louiza (BD) qui ont presque la même teneur en protéine 15.50%, et 15.51% respectivement (Tableau 4).

Concernant les lignées d'avoine, la lignée L1 a une teneur de 15.59%, suivi par la lignée L3 et la lignée 2 qui ont presque la même teneur avec une valeur moyenne respective de 15.22% et 15.21%.

Les valeurs obtenues de la teneur en protéine ne sont pas claires, mais par ailleurs, Les mélanges (L2\*BT2) et (L3\*BT1) à 30% et (L3\*BT2), (L2\*BT2) à 10% ( groupe A) pour les blés tendres constituent les meilleurs mélanges avec une teneur en protéines de 16.44% et le mélange (L3\*BD) à 30% pour le blé dur. Ceci est dû à l'incorporation de l'avoine qui a entraîné une augmentation de la teneur en protéines.

Une étude menée (D.luczycka et *al*, 2012), en mélangeant une farine commerciale du blé 650 « Diamant» avec l'avoine décortiquée avec les différents pourcentages 10, 20,30% a révélé une teneur en protéine moyenne de 12% et 13.9% respectivement du blé et d'avoine plus faibles que celles enregistrées par les variétés de blé et lignées d'avoine de notre étude, ceci est expliqué par la richesse du matériel local marocain en protéines.L'étude de D.luczycka, 2012 a montré que les mélanges blé –avoine à 10%,20%,30% d'avoine présentent des teneurs en protéine respectivement 13.2%, 13.4%, 13.5%.. de plus, (Sosulski.k, 1985) a trouvé que la teneur des protéines dans l'avoine sauvage varie entre 13% et 19% et les lignées qu'on a testé appartiennent à cette intervalle. Une autre étude réalisée par w.Briggle, 1971 sur 289 échantillons d'une collection d'avoine internationale maintenue par la division de recherche Crops a montré taux de protéine minimal (14.2 %) chez la variété Sierra et un taux maximal de 20.1% chez la variété Garton dépassant les valeurs obtenues chez les lignées d'avoine que nous avons testées.

### c) Analyse de la composition minérale:

#### ➤ Potassium :

Tableau 5 : Moyennes de la teneur en potassium en poids sec des échantillons testés.

Groupes		Moyennes	Echantillons					
	A	512.76	L3					
B	A	467.37	L2					
B		458.13	L1					
	C	389.58	(L1*BD)50					
D	C	381.97	(L2*BD)50					
D	C	381.07	(L3*BD)50					
D	C	E	363.56	(L2*BD)10				
D	C	E	363.37	(L3*BT2)50				
D	C	E	359.92	(L3*BT1)50				
D	C	E	357.22	(L2*BT2)10				
D	F	C	E	354.18	BD			
D	F	C	E	353.08	(L2*BT1)10			
G	D	F	C	E	351.98	(L1*BT1)50		
G	D	F	C	E	350.74	(L2*BT1)50		
G	D	F	C	E	H	348.42	(L1*BT2)50	
G	D	F	C	E	H	348.40	(L1*BD)10	
G	D	F	C	E	H	346.29	(L2*BT2)50	
G	D	F	C	I	E	H	332.99	(L3*BT1)10
G	D	F	C	I	E	H	332.42	(L3*BD)10
G	D	F	C	I	E	H	329.28	(L1*BT1)10
G	D	F		I	E	H	322.85	(L1*BT2)30
G	D	F		I	E	H	321.48	(L1*BT2)10
G		F		I	E	H	315.72	(L1*BT1)30
G		F		I	E	H	314.96	(L1*BD)30
G		F		I	E	H	311.50	(L3*BD)30
G		F		I	E	H	309.72	(L3*BT2)10
G		F	J	I	E	H	307.28	BT1
G		F	J	I		H	294.10	BT2
G			J	I		H	291.95	(L2*BT1)30
			J	I		H	288.19	(L2*BD)30
			J	I			278.29	(L3*BT1)30
			J	I			274.26	(L3*BT2)30
			J				251.15	(L2*BT2)30

L'analyse statistique montre des différences significatives entre les échantillons analysés pour la composition minérales (Tableau 1)

Pour Le blé dur (BD) présente une teneur en potassium de 354.17mg/100g, suivi par le blé tendre « Kharouba » avec une teneur de 307.27mg/100g, et le blé tendre « Kenz » avec une teneur de 294.10 mg/100g (Tableau 5).

Concernant l'avoine, la lignée L3 se différencie significativement de tous les échantillons testés et présente une teneur en potassium plus élevée (512.76 mg/100g), suivi par la lignée L2 avec 467.36mg/100g, puis la lignée 1 avec une teneur de 458.12mg/100g.

Concernant les mélanges, les meilleurs sont (L1\*BD), (L2\*BD), (L3\*BD) à 50%(groupe C) car ils présentent respectivement les teneurs en potassium les plus élevées par rapport aux autres mélanges 389.58 mg/100g, 381.97mg/100g et 381.07mg/100g, ces valeurs sont proches de celles des lignées d'avoine. Et pour les blés tendres (L3\*BT2) et (L3\*BT1) à 50% (groupe E) constituent les meilleurs mélanges avec des valeurs respctive de 363.37mg/100g et 359.9 mg/100g.

La fortification en avoine entraine une augmentation de la teneur en potassium, cette teneur est proportionnelle avec les pourcentages.

Les teneurs en potassium des lignées d'avoines, sont élevées par rapport aux variétés des blés testés, par contre les travaux de Nazha Asserar et al ( publication en cours ), ont analysé la composition minérale de 10 variétés et 6 lignées du blé marocain, ils ont trouvé des teneurs en potassium en moyenne de 515.46mg/100g proche de notre meilleure lignée d'avoine, mais par rapport à au travaux de Manzali Raja et al (2014) qui ont étudié le potentiel alimentaire des 6 lignées hexaploïdes marocaines (*5.avena.l*) et une variété de (*A.nuda*) dont les teneurs en potassium sont maximales chez la lignée P50-52 (tétraploïde) qui reste faible par rapport à notre lignées ,et une teneur minimale dans la lignée Bounjmate (hexaploïde).

➤ **FER:**

Tableau 6: Moyennes du teneur en Fer mg/100g du poids sec des échantillons testés.

Groupes						Moyenne	Echantillon
A						8.9000	L3
B A						8.1100	L2
B C						7.6950	(L2*BD)50
B C D						7.4400	L1
B E C D						7.2800	(L2*BT2)10
F B E C D						7.1400	(L2*BT2)50
F B E C D G						7.0250	(L1*BD)50
F H E C D G						6.7950	(L3*BT2)50
F H E C I D G						6.5150	(L3*BT1)50
F H E I D G						6.4000	(L2*BD)10
F H E I D G						6.3550	(L1*BT2)30
F H E J I G						6.1750	(L3*BD)50
F H E J I G						6.1650	(L3*BD)10
F H E J I G						6.1550	BD
F H E J I G						6.0900	(L1*BD)10
F H J I K G						6.0200	(L1*BT1)10
F H J I K G						6.0100	(L1*BT2)50
F H J I K G						6.0050	(L3*BD)30
F H J I K G						5.9650	(L2*BT1)10
H J I K G						5.8600	(L1*BT1)50
H J I K G						5.8250	(L3*BT2)10
H J I K G						5.7350	(L2*BT1)50
H J I K G						5.6750	(L1*BT2)10
H L J I K G						5.5450	(L1*BD)30
M L J I K G						5.3950	(L3*BT1)10
M L J I K G						5.3900	(L1*BT1)30
N M L J K G						5.0700	(L3*BT2)30
N M L J K G						5.0600	BT2
N M L J K G						4.9750	(L2*BD)30
N M L K G						4.8100	(L2*BT2)30
N M L K G						4.3900	(L2*BT1)30
N M K G						4.2100	BT1
N K G						3.9900	(L3*BT1)30

Le blé dur a une teneur en fer de 6.16 mg/100g, suivi par le blé tendre (BT2) avec une teneur de 5.06 mg/100g, le blé tendre « kharouba » (BT1) a une teneur faible de 4.21mg/100g (Tableau 6).

Concernant l'avoine, les L2 et L3 ont enregistré des teneurs en fer similaires et respectives de 8.90 et 8.11mg/100g, la lignée L1 a une teneur de 7.44mg/100g. Les teneurs plus élevée en fer chez les lignées d'avoine par rapport aux variétés des blés indiquent la richesse de l'avoine en fer.

Pour les mélanges: (L2\*BD) à 50% avec une valeur (groupe C) présente le meilleur mélange en fer se différenciant significativement des autres mélanges. Concernant les blés tendres le mélange (L3\*BT1) à 50% (groupe F) enregistre une valeur de 3.84 mg/100g.

On en conclue que les mélanges qui ont la teneur la plus élevée en fer sont celles qui sont fortifié par l'avoine, ainsi cette teneur est proportionnelle avec les pourcentages de fortification. Donc La fortification par l'avoine entraine une augmentation du teneur en fer au niveau des mélanges.

L'étude de Manzali R. et *al*, 2014, qui ont étudié le potentiel alimentaire des 6 lignées hexaploides d'avoine marocaines (*5.avena.l*) et une variété de (*A.nuda*) ont trouvé une teneur de fer maximale en moyenne de 20,2 mg /100g dans la lignée Ghali (hexaploide), cette teneur est plus élevée par rapport aux teneurs des lignées d'avoine de notre étude, et Asserar N. et *al*, publication en cours) ont travaillé sur la composition minérale de 10 variétés et 6 lignées du blé marocain, et ont obtenu une teneur en moyenne de 3.89 mg /100g, teneur relativement faible par rapport aux variétés de blé analysées dans notre étude.

➤ **Zinc:**

Tableau 7: Moyennes en zinc en mg/100g du Poids sec des échantillons testés.

Groupes							Moyennes	Echantillons	
			A				4.9250	BD	
	B		A				4.8500	(L1*BD)10	
	B		A	C			4.6100	(L3*BD)50	
	B	D	A	C			4.4600	L3	
E	B	D	A	C			4.3500	(L1*BD)50	
E	B	D	A	C	F		4.1950	(L2*BD)50	
E	B	D	A	C	F		4.1350	(L2*BD)10	
E	B	D	G	C	F		4.0700	L1	
E	B	D	G	C	F		4.0650	(L3*BD)30	
E	H	D	G	C	F		3.8400	(L3*BT1)50	
E	H	D	G	C	F		3.8350	(L1*BD)30	
E	H	D	G	I	C	F	3.8000	(L3*BT2)50	
E	H	D	G	I	J	F	3.7350	(L2*BD)30	
E	H	D	K	G	I	J	F	3.6450	(L1*BT1)10
E	H	L	K	G	I	J	F	3.5000	(L1*BT1)50
E	H	L	K	G	I	J	F	3.4850	(L2*BT1)10
	H	L	K	G	I	J	F	3.4650	(L3*BD)10
M	H	L	K	G	I	J	F	3.3950	(L1*BT1)30
M	H	L	K	G	I	J	F	3.3650	(L3*BT1)10
M	H	L	K	G	I	J	F	3.3350	(L2*BT2)10
M	H	L	K	G	I	J	F	3.3250	(L1*BT2)10
M	H	L	K	G	I	J		3.2500	(L1*BT2)50
M	H	L	K	N	I	J		3.1250	(L1*BT2)30
M		L	K	N	I	J		2.9500	BT2
M		L	K	N		J		2.9050	BT1
M		L	K	N				2.8350	(L2*BT1)30
M		L	K	N				2.7900	(L3*BT1)30
M		L	K	N				2.7900	(L2*BT1)50
M		L	K	N				2.7850	L2
M		L		N				2.7500	(L2*BT2)50
M		L		N				2.6150	(L3*BT2)10
M				N				2.5400	(L3*BT2)30
				N				2.2900	(L2*BT2)30

La variété de blé dur « Louiza » a présenté une teneur en zinc de 4.93mg/100g du poids sec, des teneurs notées chez les autres blés tendres qui ont enregistré des teneurs de 2.95mg/100g et 2.91mg/100g du poids sec respectivement (Tableau 7).

La lignée L3 et L1 d'avoine ne se différencient pas significativement pour la teneur en zinc avec des valeurs respectives de 4.46mg/100g et 4.07mg/100g, suivies par la lignée L1 avec une teneur de La lignée L2 possède la teneur la plus de 2.78mg/100g.

Pour les mélanges: il n'y a pas de différence significative entre les mélanges (L1\* BD) à 10% et (L3\* BD) à 50% (groupe A) qui représentent les meilleurs mélanges, ceci est expliqué par la variété du blé dur qui est riche en Zn.

Nous avons conclu que la teneur la plus élevée en zinc est dans les mélanges qui ont été combiné avec le blé dur « Louiza », car ce dernier est riche en zinc .Ainsi que cette teneur est proportionnelle avec les pourcentages.

## 2. Qualité technologique :

Tableau 8 : Tableau d'ANOVA des paramètres technologiques

<b>Caractère</b>	<b>Béta Carotène</b>	<b>Clarté</b>	<b>SDS</b>
<b>Probabilité</b>	136,02***	536,57***	254,46***
<b>Moyenne</b>	4,88	44,14	56,11
<b>Coefficient De Variation</b>	7,53	0,67	2,93

\*\*\*: différence très hautement significative  $p < 0.001$ .

L'analyse statistique des données a révélé des différences significatives entre les différents échantillons pour les paramètres technologiques.

### a) Analyse des pigments jaunes:

Tableau 9: Moyennes du teneur en beta carotène en ppm des échantillons testés

Groupes			Moyennes	Echantillons
A			10.8200	L1
B			9.5250	L3
B			9.4900	(L3*BD)50
B			9.4850	(L1*BD)10
C	B		8.8750	(L3*BD)10
C			8.3050	(L1*BD)50
D			7.3800	(L2*BD)10
D			7.3600	(L1*BD)30
D			7.0250	(L3*BD)30
D			7.0100	BD
E	D		6.8200	(L1*BT1)50
E	D	F	6.6400	(L3*BT2)50
E	D	F	6.5350	(L2*BD)50
E	D	F	6.5200	(L3*BT1)50
E	F		6.0300	L2
F			5.9400	(L2*BD)30
G			3.3200	(L3*BT1)10
H	G		3.0250	(L1*BT2)50
H	G		2.9550	(L1*BT1)30
H	G		2.9400	(L3*BT1)30
H	G		2.8150	(L1*BT2)30
H	G	I	2.5550	(L3*BT2)30
H	G	I	2.4850	(L2*BD)10
H	I		2.4100	(L2*BT2)50
H	I		2.3750	BT1
J	I		1.9400	(L2*BT1)50
J	I		1.8900	BT2
K	J	I	1.7850	(L2*BT1)30
K	J	I	1.7450	(L1*BT2)10
K	J		1.4850	(L2*BT2)30
K	J		1.4150	(L1*BT1)10
K	J		1.1000	(L2*BT1)10
K			1.0150	(L3*BT2)10

L'analyse statistique a montré des différences significatives entre les différents accèsions pour le taux en pigments jaunes (Tableau 8).

Le blé dur (Louiza) a la teneur la plus élevée en bêta carotène de 7.01 ppm, par rapport aux deux autres blés tendres (kharouba) et (kenz) dont les teneurs sont respectivement de 2.38ppm, 1.89ppm. Ceci est expliqué par la richesse du blé dur en pigments jaunes par rapport au blé tendre (Tableau 9).

Concernant les lignées d'avoine : la lignée L1 a une teneur élevée en bêta carotène (10.82 ppm) et présente une différence significative par rapport à tous les échantillons testés, suivie par L3 (9.56 ppm) puis la lignée L2 (6.03 ppm).

Concernant les mélanges: les trois mélanges (L3\*BD) à 50%,(L3\*BD) et (L1\*BD) (groupe B) à 10% sont les mélanges adéquats car ils ont une teneur élevée en bêta carotène c.à.d. teneur élevée en pigments jaunes due à l'incorporation de l'avoine et aussi dû blé dur, pour la fabrication des semoules, des nouilles et des pâtes en général, et par conséquent une haute qualité nutritionnelle et visuelle bénéfique pour le producteur et qui attire le consommateur .

Une étude de (I.E.Louafi, 2001) sur des lignées issues d'un croisement entre les variétés de blé dur « Omrabi 5 » et « Jori-c 69 ». a révélé une teneur en pigments jaunes maximale 9.3ppm chez la lignée YP00TR et et une teneur minimale 2.1 ppm obtenue chez la lignée YP00SUM.

## b) Analyse de la clarté des mélanges Blé-Avoine

Tableau 10: Moyennes de la clarté des échantillons testés.

Groupes		Moyennes	Echantillons
	A	51.8200	BD
	B	50.5100	BT1
C	B	50.3600	BT2
C	B	50.3050	(L1*BD)10
C		49.8600	(L2*BD)10
	D	48.8550	(L1*BT2)10
	E	47.7500	L3
F	E	47.4450	(L2*BT1)10
F	E	47.2600	(L3*BT2)50
F		47.0450	(L1*BT1)10
	G	46.2750	(L2*BT2)10
	G	46.2000	(L3*BT2)10
	G	46.1400	L1
H	G	45.7850	(L2*BD)30
H	I	45.5100	L2
H	I	45.4750	(L2*BT1)30
J	I	45.0250	(L3*BT1)30
J		44.8350	(L3*BD)50
J	K	44.4450	(L3*BT1)50
L	K	44.2050	(L3*BD)10
L	M	43.6250	(L1*BT2)30
	M	43.3900	(L2*BT1)50
	M	43.1400	(L3*BD)30
	N	41.4750	(L1*BT1)30
	N	41.2100	(L1*BD)50
	O	40.1000	(L2*BT2)50
	O	39.6300	(L3*BT2)30
	P	38.8950	(L3*BT1)10
	Q	37.8850	(L1*BT2)50
R	Q	37.5550	(L2*BD)50
R		36.9750	(L1*BD)30
	S	33.9850	(L2*BT2)30
	S	33.7400	(L1*BT1)50

Le blé dur Louiza (BD) présente une différence significative par rapport aux deux blés tendres, mélanges et lignées d'avoine, ce blé a une clarté plus élevée, en moyenne 51.82, suivi par le blé

tendre kharouba (BT1) (50.51) puis, le blé tendre « Kenz » avec une clarté de 50.36 (Tableau 10).

Concernant les lignées d'avoine, il y a une différence significative entre les trois lignées, la lignée L3 à une clarté de 47.75, suivi par la lignée L1 avec une clarté de 46.14, puis la lignée L2 avec une clarté de 45.51. Ces valeurs sont inférieures à celles des blés caractérisés par leur richesse en pigments qui lui donne l'aspect plus clair que l'avoine.

Concernant les mélanges, le mélange (L1\*BD) à 10% se diffère significativement par rapport à tous les mélanges.

La diminution de la clarté des mélanges est dûe à l'ajout d'avoine qui est moins clair que le blé, cette diminution est proportionnelle avec les pourcentages. Le producteur doit focaliser sur les mélanges dont la clarté est élevée, car la clarté représente une qualité visuelle qui attire le consommateur, plus le produit est clair plus il est désirable.

Une étude de (Julia.M.Humpheries, 2004) sur une collection qui contient 154 variétés CBMEISY, 182 variétés J731BII et 144 variétés J731A obtenue du centre international d'amélioration du blé et maïs, ont trouvé un indice de clarté (L) maximale en moyenne 80.52 chez les variétés CBMEISY et minimale en moyenne 75.35 chez les variétés J731BII, leurs indices de clarté (L) est plus élevé que celle de nos variétés du blé.

### c) Analyse de l'indice de sédimentation:

Tableau 11 : Moyennes de l'indice de sédimentation des échantillons testé

Groupes		Moyennes	Echantillons
A		95.000	BT1
B		91.000	(L2*BT1)10
C		85.000	(L3*BT1)10
C		83.000	(L1*BT1)10
C		82.000	(L1*BT1)30
D		74.000	BT2
D		73.000	(L3*BT1)30
E	D	72.000	(L1*BT2)10
E	F	69.000	(L2*BT2)10
F		67.000	(L3*BT2)10
G		58.900	(L2*BT1)30
G		58.400	BD
H	G	55.650	(L2*BD)10
H	G	55.650	(L1*BT2)30
H	G	55.650	(L3*BD)10
H	G	55.100	(L1*BD)10
H	G	55.100	(L3*BT2)30
H	I	54.500	(L2*BT2)30
H	I	54.200	(L1*BD)30
J	I	51.400	(L3*BT1)50
J		50.000	(L1*BT1)50
K	J	48.300	(L2*BT1)50
K	J	48.300	(L2*BD)30
K	J	47.700	(L3*BD)30
K	L	45.500	(L2*BT2)50
M	L	42.200	(L3*BT2)50
M	N	40.000	(L1*BT2)50
O	N	38.100	(L1*BD)50
O	N	36.800	(L3*BD)50
O		35.000	(L2*BD)50
P		28.800	L1
Q		23.000	L3
Q		22.700	L2

Pour les blés la variété « kharouba » (BT1) présente l'indice le plus haut de 95ml par rapport aux blés et aux mélanges étudiés, suivi par la variété « kenz » (BT2) avec une valeur de 74ml. Par contre le blé dur a le plus bas indice de 58.4ml. Ceci est expliqué par la haute qualité du gluten présente dans le blé tendre par rapport au blé dur (Tableau 11).

Concernant l'avoine une différence significative est notée entre les trois lignées, la lignée L1 a un haut indice 28.8 ml, suivie par la lignée L2 et L3 qui ont presque le même indice 22.7 ml et 23ml respectivement. Par ailleurs le mélange (L2\*BT1) à 10% présente une différence par rapport à tous les mélanges et aux lignées d'avoine, et est plus proche de la meilleure variété du blé tendre (BT1), suivi par les mélanges de 30%. Ainsi que les mélanges 50% sont plus proche aux lignées d'avoine. Ceci est expliqué par l'ajout d'avoine qui diminue la qualité du gluten qui est plus élevé dans le blé que dans l'avoine, et par la suite la diminution de la force boulangère du blé, cette diminution est proportionnelle avec les pourcentages. Ce résultat concorde avec ceux trouvés par (Anna Czubazek et al, 2005) et (D.luczycka et al, 2012).

L'indice de sédimentation des mélanges est inversement proportionnel avec les pourcentages ceci est dû à l'incorporation d'avoine qui présente une qualité faible de gluten. Ainsi que le mélange le plus fortifié en avoine et avec un indice de sédimentation élevé est le mélange de 30% (L1\*BT1) avec un indice de 82ml.

Des études similaires réalisées par (Anna Czubazek et al,2005) qui ont effectué aussi des mélanges entre des variétés du blé (CWF) et (LMF) et l'avoine décortiquée à des pourcentages différentes 5,10,15,20% ont trouvé que des mélanges à 5,10,15,20% d'avoine ont présenté respectivement des indices de sédimentation de 71.1ml, 67.5ml, 64.5ml, et 60.6ml Ces résultats sont en concordance avec ceux obtenus par notre étude et confirme aussi que l'indice de la sédimentation des mélanges est inversement proportionnel avec les pourcentages d'avoine dans les mélanges. Une autre étude qui concorde avec nos résultats est celle de (D.luczycka et al, 2012) qui en mélangeant une farine commerciale du blé 650 « Diamant» avec l'avoine décortiquée à différents pourcentages 10, 20et 30%, ont trouvé un indice de sédimentation de 80 ml pour le blé et des indices de 76ml, 66ml, 59ml pour les mélanges.

## **Conclusion générale et recommandations**

L'incorporation de l'avoine dans la farine de blé commerciale, a entraîné une augmentation significative dans les teneurs en fibres bêta glucane, en minéraux (zinc, fer et potassium), en pigments jaunes (bêta carotènes), et en protéine et par conséquent une amélioration de la qualité nutritionnelle de cette farine. Néanmoins, cette incorporation peut affecter la qualité visuelle et la qualité boulangère de la farine par une diminution significative de la clarté et de la force du gluten.

Le choix des pourcentages d'avoine à incorporer dans les mélanges blé /avoine dépendrait de l'objectif des producteurs. Pour l'industrie biscuiteries, semoules, et pâtes alimentaires des mélanges à 50% d'avoine qui restent dans les normes de la force boulangère (indice de sédimentation 30 ml) peuvent être proposés. Pour la panification et la pâtisserie, des mélanges à 10% jusqu'à 30% de fortification peuvent être utilisés. Des études plus approfondies doivent être conduites pour mieux comprendre les effets de la fortification des farines commerciales du blé par l'avoine.

Nous recommandons vivement aux producteurs d'utiliser le mélange blé/avoine à 50% présentent des teneurs assez importante en élément nutritif, ce qui a une répercution positive sur la santé des consommateurs (surtout dans le continent africain).

L'utilisation de ce mélange aura un effet bénéfique chez les consommateurs qui souffrent d'anémie, constipation, les maladies cardio-vasculaire, mais l'augmentation du pourcentage d'avoine peut altérer l'aptitude technologique du blé (test SDS). Malgré cette diminution (gluten), elle demeure benifique pour les consommateurs qui souffre d'allergie au gluten (maladie coeliaque).

## **Perspectives**

Afin de compléter ce travail, Il est souhaitable d'approfondir cette étude en se focalisant sur les points suivants :

- Préciser les propriétés diétiques et le goût en réalisant un test de dégustation.
- Tester des mélanges fortifiés par des lignées d'avoine sauvages ayant des teneurs plus élevées en bêta glucane, protéines et en minéraux.
- Evaluer l'influence des mélanges fortifiés par l'avoine sur la texture des pâtes.
- Introduire ce mélange comme un bio additif dans les yaourts.

## Références bibliographiques

**Abe K., Arodzero, A., Baltay, C., Brau, J. E., Breidenbach, M., Burrows, P. N., & Usher, T. (1997).** Design and performance of the SLD vertex detector: a 307 Mpixel tracking system. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 400(2), 287-343.

**Akka, A. E. (2006).** Cereale policies in MORROCCO. 7.

**Alfthan G., Neve, J., Kumpulainen, J., & Salonen, J. (1996).** Selenium intakes and plasma selenium levels in various world populations. Natural antioxidants and food quality in atherosclerosis and cancer prevention.

**Ammälä, C., Eliasson, L., Bokvist, K., Larsson, O., Ashcroft, F. M., & Rorsman, P. (1993).** Exocytosis elicited by action potentials and voltage-clamp calcium currents in individual mouse pancreatic B-cells. *The Journal of Physiology*, 472, 665.

**Anderson J.W., Bridges S.R., Hypocholesterolemic effects of oat bran in humans. 1993,** *Oat Bran* (ed. P.J. Wood). Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, MN, pp. 139–197.

**Anna Czubaszek, Z. K.-S. (2005).** Effects Of Wheat Flour Supplementation With Oat Products On Dough And Bread Quality. *Polish Journal Of Food And Nutrition Sciences*, 281-286.

**AOAC. (1990).** OFFICIAL METHOD OF ANALYSIS,15th Edit.Arlington,USA;Assosiation of Official Analytical Chemists.

**Beer, w. (1998).** functional foods,biochemical and processing . technomic publication company, 1-37.

**Bermink MR (1994).** Nielson SS (ed) Introduction to the Chemical Analysis of Foods, pp 43-46.

**Blumenthal, M., Goldberg, A., & Brinckmann, J. (2000).** Herbal Medicine. Expanded Commission E monographs. *Integrative Medicine Communications*,115-118.

**Briggle, w. (1971).** Amino acid composition of oat Gorats. *Agronomy,food chemical*, 537-538.

**Buffa, R., & Velebny, V. (2009).** Influence Of Yeast Morphology On The Properties Of Cell Wall Glycoproteins Marta Brlejšová, Milan Čertík, Peter Rapta, And Vlasta Brezová. *Chem. Listy*, 103, 753-782.

**Cakmak I (2004).** IFS Proceedings No. 552, pp 1–28, International Fertiliser Society, York

**Cakmak I (2006).** *Physiol. Plant.* 128: 144–152

**CLERGET, Y. (2011).** *BIODIVERSITÉ DES CÉRÉALES Origine et évolution .p10.*

**Coffman, F. A. (1946).** Origin of cultivated oats. *Agronomy Journal*, 38(11), 983-1002.

**Cornell, H (2003).** Cauvain SP (ed) *Bread Making: Improving Quality.* Woodhead 213-217.

**Czubaszek, A., & Karolini-Skaradzińska, Z. (2005).** Effects of wheat flour supplementation with oat products on dough and bread quality. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 14(3), 281. *Agrophys*, 175-180.

**Dekker, M. (2006).** *Functional foods and biotechnology.* 650 p, Inc., New York 169–180, Jones and Bartlett Publishers, Boston.

**Dewey, D. R. (1984).** The genomic system of classification as a guide to intergeneric hybridization with the perennial Triticeae (pp. 209-279). Springer US.

**Dimberg, L. H. (2003).** Avenanthramides in oats (*Avena sativa* L.) and structure-antioxidant activity relationships. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(3), 594-600.

**Duke, A., Pike, M. C., Krailo, M. D., Henderson, B. E., & Roy, S. (1983).** Breast cancer in young women and use of oral contraceptives: possible modifying effect of formulation and age at use. *The Lancet*, 322(8356), 926-929.

**ELouafi I. (2001).** identification of microsatellite on chromosome 7B showing a strong linkage with yellow pigment in durum wheat (*Triticum turgidum* L.var.durum). *Herditas*, 255-261.

**Łuczycyk, A. C. (2013).** Dielectric properties of wheat flour mixed with oat meal. *International.*

**FAO, (2008).** Food Quality in Atherosclerosis and Cancer Prevention, pp 161–167. Royal Society of Gibson RS (eds) Trace Elements in Man and Animals – 9. Proceedings of the Ninth.

**Flanders, S. A., Stein, J., Shochat, G., Sellers, K., Holland, M., Maselli, J., & Gonzales, R. (2004).** Performance of a bedside C-reactive protein test in the diagnosis of community-acquired pneumonia in adults with acute cough. *The American journal of medicine*, 116(8), 529-535.

**Hesser, JM (1994)** *Int. Food Ing.* 172: 50–52.

**Hotz, C., & Brown, K. H. (2004).** Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control (pp. 596-203). International nutrition foundation: for UNU.

**Jan Czewinski, E. B. (2004).** Oat (*avena sativa*.L) and amaranth (*amaranthus hypochondriacus*) meal positively affect plasma lipid profile in rats fed cholesterol containing diets. *Journal of nutritional biochemistry*, 622-629.

**Julia, M. Humpheries, R. D. (2004).** Application of reflectance colour measurement to the estimation of carotène and lutein content in wheat and triticale. *Journal of cereal science*, 151-159.

**Kawka, P., Horbanczuk, J., Sales, J., Celeda, T., Konecka, A., Zieba, G., (1998).**Cholesterol content and fatty acid composition of ostrich meat as influenced by subspecies. *Meat Science*, 50(3), 385-388.

**Lapveteläinen, A., Puolanne E., Salovaara, H. (1994).** High-pro- tein oat flour functionality assessment in bread and sau- sage. *J. Food Sci.*, , 59, 1081–1085.

**Lee , Y.T., Schwartz, P.B., D’Appolonia, B.L., (1995).** Effects of (1,3),(1-4) b-glucans from hull-less barley on the pro- perties of wheat starch, flour and bread. *Barley Newsl.*, , 39, 83–88.

**Linné, C (1753).** *Flora of China, AVENA Linnaeus, Sp. Pl.* 1: 79. 1753. 323–325.

**Liukkonen Katina, K., Arendt, E., K. H., Autio, K., Flander, L., & Poutanen, K. (2005).** Potential of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1), 104-112.

**Liukkonen, K.H., Montfoort, A., Laakso, S.V., (1992).** Water- -induced lipid changes in oat processing. *J. Agric. Food Chem.*, , 40, 126–130.

**Łuczycza, D., Czubaszek, A., Fularczuk, M., & Pruski, K. (2013).** Dielectric properties of wheat flour mixed with oat meal. *International Agrophysics*, 27(2), 175-180.

**Malzew, A. I. (1930).** Wild and Cultivated Oats: Sectio Euvana Griseb.

**Manzali, R., Benchekroun, M., Zaouahri, A., Douaik, A., Bouksaim, M., Saidi, N., Bendaou, M. (2014).** evaluation of technological potential of new developed Moroccan hexaploid oat lines. *international journal of engineering research and technologie*,1759-1764.

**Mc CLEARY. (2006).** *mixed-linkage beta-glucan,1-14.*

**Paredes-López, O., Osuna–Castro, JA., (2006).** In: Shetty K, Paliyath G, Pometto AL, Levin RE.

**Peltonen-Sainio, P., Kangas, A., Salo, Y., & Jauhiainen, L. (2007).** Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: evidence based on 30 years of multi-location trials. *Field Crops Research*, 100(2), 179-188.

**Petkov, G. V., Bonev, A. D., Heppner, T. J., Brenner, R., Aldrich, R. W., & Nelson, M. T. (2001).**  $\beta$ 1-Subunit of the  $\text{Ca}^{2+}$ -activated  $\text{K}^{+}$  channel regulates contractile activity of mouse urinary bladder smooth muscle. *The Journal of physiology*, 537(2), 443-452.

**Pinta.M. (1976).** spectrométrie d'absorption atomique application à l analyse chimique.Tome.pp 470-471.

**Prasad AS (2007).** *J. Nutr.* 137: 1345–1349.

**Rave K, Roggen K, Dellweg S, Heise T, Dieck TH (2007).** *Br. J. Nutr.* 98: 929-936.

**Rochow, M. V. V. (1971).** Avena ludoviciana Dur. im Schweizer Spätneolithikum, ein Beitrag zur Abstammung des Saathafers. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 84(5), 243-248.

- Sabori Mitra, a. (2012).** évaluation of white salted noodles enriched with oat flour. *cereal chemistry journal*, 117-125.
- Saidi, N., Al Faiz, Bennani, K., Thami Alami, I., Bendaou, N., Gaboun, F., & C. (2008).** Conservation and multivariate analysis utility in characterization of ecogeographical relationships of Trifolium and Lotus species. *African Journal of Ecology*, 49(1), 1-9.
- Sherbrooke. (2004).** *avoine fleurie*,5-7 .
- Skoog, D. (1997).** *chimie analytique*. paris: 7 edition américaine,deboeck université,chapitre12.
- SNIMA. (1999).** détermination de la teneur en pigment caroténoïde, NM, 08,1,116.
- SNIMA. (1999).** L'indice de sédimentation au Sodium Dodecyl Sulfate, NM, 08, 1, 217.
- Sosulski,k, S. e. (1985).** nutritive value of wild oat. *industry food,science technologie*, 220-225.
- Šramková, Z., Gregová, E., & Šturdík, E. (2009).** Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta Chimica Slovaca*, 2(1), 115-138.
- Strychar, R. (2009).** World Oat Production, Trade, and Usage. *Ag Commodity Research*,1-5.
- Van Rast, E. V. (1999).** *manual for the soil chemistry and fertility laboratory ED.1999*.
- Weickert, M. O., Roden, M., Isken, F., Hoffmann, D., Nowotny, P., Osterhoff, M., ... & Pfeiffer, A. F. (2011).** Effects of supplemented isoenergetic diets differing in cereal fiber and protein content on insulin sensitivity in overweight humans. *The American journal of clinical nutrition*, 94(2), 459-471.
- Wieser H., Seilmeier W., Belitz H.D. (1980).** Vergleichende Untersuchungen über partielle Aminosäuresequenzen von Prolaminen und Glutelinen verschiedener Getreidearten. *Lebensm. Unters. Forsch.* 170, 17–26.
- Wioletta BIEL1, A. S. (2010).** Chemical Composition And Protein Value Of Brown And Yellow Hull Oats. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis*,39-48.
- Wood P.J. (2007).** Cereal  $\beta$ -glucans in diet and health. *J. Cereal Sci.* 46 (3), 230–238.

Yehia, M., Thomas, M., Pilmore, H., Van Der Merwe, W., & Dittmer, I. (2004). Subcutaneous black fungus (phaeohyphomycosis) infection in renal transplant recipients: three cases. *Transplantation*, 77(1), 140-142.

**Zuzana Šramková, E. G. (2009).** Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta Chimica Slovaca*, 115-138.

# Annexes

### **Réactifs du béta glucane:**

Les troussees appropriées pour effectuer 100 dosages sont disponibles auprès de Megazyme. Les troussees contiennent la méthode complète de dosage, plus :

**Bouteille 1** : Lichénase spécifique ; endo (1-3) (1-4)  $\beta$ -D-glucane 4 glucanohydrolase, la suspension (1 ml, 1,0000U / mL) .stable pour > 3 ans à 4 ° C.

**Bouteille 2** :  $\beta$ -glucosidase (1 ml, 40U / ml) de suspension .stable pour > 3 ans à 4 ° C.

**Bouteille 3** : GOPOD tampon réactif. Tampon phosphate de potassium (1 M, pH 7,4),... - hydroxybenzoïque (0,22M) et de l'azoture de sodium (0,4% w / W). Stable pour > 3 ans à 4 ° C.

**Bouteille 4** : GOPOD enzymes réactif. Glucose oxydase (> 12,000U) plus la peroxydase (> 650U) et 4-Aminoantipyrine (80 mg). Poudre lyophilisé. Stable pour >5ans à -20°C.

**Bouteille 5** : solution standard D-glucose (5 ml, 1,0 mg / ml) dans 0,2% (p/v) d'acide benzoïque ; stable pendant > 5 ans à la température ambiante.

**Bouteille 6** : Orge normalisé de contrôle de la farine. Le contenu de  $\beta$ -glucane apparaît sur l'étiquette du flacon, stable pendant > 5 ans à la température ambiante.

**Bouteille 7** : Avoine normalisé contrôle de la farine. Le contenu de  $\beta$ -glucane apparaît sur l'étiquette du flacon, stable pendant > 5 ans à la température ambiante

### ***Préparation des solutions/suspensions réactives***

- 1) Diluer le contenu de la bouteille 1 (lichenase) à 20,0 ml avec du tampon de phosphate de sodium 20 mM (pH 6,5). Diviser la suspension de taille appropriée et stocker dans un tube en polypropylène à -20°C entre l'utilisation et garder au frais pendant l'utilisation si possible.
- 2) Diluer le contenu entier de la bouteille 2 ( $\beta$ -glucosidase) à 20.0mL avec un tampon acétate de sodium de 50 mM (PH 4.0). Diviser la suspension de taille appropriée et stocker dans un

tube en polypropylène à -20°C entre l'utilisation et garder au frais pendant l'utilisation si possible. Stable pour > 2 ans à -20°C.

- 3) Diluer le contenu de la bouteille 3 (GOPOD tampon réactif) à 1 L avec de l'eau distillée. utiliser immédiatement
- 4) Dissoudre le contenu de la bouteille 4 dans 20 ml de la solution 3 et transférer de manière quantitative à ce de la bouteille contenant le reste de la solution 3. couvrir cette bouteille de papier d'aluminium pour protéger le réactif clos de la lumière c'est le réactif de la détermination du glucose (GOPOD Réactif). Stable presque 3 mois à 2-5 ° C ou > 12 mois à -20°C.

***Tampons :***

**1) Tampon phosphate de sodium (20 mM, pH 6,5)**

Dissoudre 3, 12 g dihydratedihydrogéo-orthophosphate de sodium ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dans 900 ml d'eau distillée et on ajuste le pH à 6,5 par addition de 100 mM d'hydroxyde de sodium (4 g/L) (approx. 50 mL est nécessaire). Régler le volume à 1 L. Ajouter 0,2 g d'azoture de sodium, stable pendant 2 mois à 4°C.

**2) Tampon d'acétate de sodium (50 mM, pH 4,0)**

Ajouter 2,9 mL d'acide acétique glacial à 900 ml d'eau distillée. Ajuster le pH à 4,0 par addition de 1 M de solution d'hydroxyde de sodium. Régler le volume à 1 L. Ajouter 0, 2 g d'azoture de sodium, stable pendant 2 mois à 4°C.

**3) Tampon d'acétate de sodium (200 mM, pH 4)**

Ajouter 11, 6 ml d'acide acétique glacial à 900 ml d'eau distillée. Ajuster le pH à 4, 0 par addition de 1 M de solution d'hydroxyde de sodium. Régler le volume à 1 L. Ajouter 0, 2 g d'azoture de sodium, stable pendant 2 mois à 4°C.