

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de L'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université SAAD DAHLAB de BLIDA

FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE EN VUE DE
L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADEMIQUE
EN SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
FILIÈRE : NUTRITION ET CONTROLE DES ALIMENTS.

Thème

**Contribution à l'étude physicochimique, microbiologique et
toxicologique du son de blé tendre d'orge et de seigle en vue de la
valorisation à l'alimentation humaine**

Présenté par

CHERCHALI KHADIDJA

OUALI ASMA

Devant le jury composé de :

M ^f	RAMDANE. S	MAA	USDB	Président
M ^{me}	KOUIDRI. A	MAA	USDB	Promotrice
Mr	AMALOU. D	MAA	USDB	Examineur
Mr	HADJ SADOK. T	MCB	USDB	Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2010 -2011

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir accordé la connaissance de la science et de nous avoir aidé à réaliser ce modeste travail.

Ce travail n'aurait pas existé sans les efforts de Madame A. KOUIDRI Maître Assistant au département des Sciences Agronomique de l'USDB, nous tenons à la remercier pour nous avoir guidés et assistés tout au long de ce travail, pour lequel elle nous a fait l'honneur d'être promotrice.

Nous remercions également :

M^r HADJ SADOUK, nous lui sommes très reconnaissantes pour nous avoir accepté d'examiner notre travail.

M^r AMALOU d'avoir accepté avec beaucoup de bienveillance d'examiner notre travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à M^r S.RAMDANE pour le grand honneur qu'il nous fait en acceptant de présider notre jury.

Sans oublier de remercier ceux qui nous ont donné un conseil, et une information utile à propos de notre travail.

Dédicace

Cette thèse est dédiée à la mémoire de mon père (que Dieu ait son âme), qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. Sans lui, je n'aurais certainement pas fait d'études longues.

A ma très chère maman pour son amour, sacrifices et encouragements qu'ALLAH la protège et lui donne la longue vie

A ma sœur SIHEM et mes frères AMINE et MOHAMED

Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter, pour votre affection, compréhension et patience

Avec toute ma tendresse :

A mes nièces : NOUR et ASSIA et mes neveux : HAITHAM et AYOUB

A mon beau-frère NABIL et ma belle sœur HADJER

A mes oncles, tantes, cousins et cousines

A mon adorable binôme ASMA

A toutes mes amies et tous mes camarades

A tous ceux qui ont une relation de proche ou de loin

Avec la réalisation du présent rapport

A toute la promotion 2011

C.Khadidja

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents;

Ma sœur;

Mes frères;

Mes amis.

O.Asma

Résumé

Notre étude vise la valorisation du son de trois espèces de céréales : le blé, l'orge et le seigle. Étant un sous produit des céréales, le son est une source énergétique très importante pour l'organisme car il est riche en fibres alimentaires. Cette étude nous a permis de déterminer leur apport nutritionnel du point de vue quantitatif et qualitatif. Après comparaison des résultats obtenus à partir des analyses physicochimiques effectuées sur le son des trois espèces, nous avons constaté ceci :

La teneur en fibres alimentaires du son de blé (51,7 %) est plus élevée que le son de seigle (47,3 %) et le son d'orge (30,8 %).

Le son de seigle est plus riche en amidon (20,43 %) par rapport au son d'orge (19,92 %) et au son de blé (19,7 %).

Le son d'orge (12,71 %) présente une teneur en protéines moins élevée par rapport au son de blé (16,38 %) et au son de seigle (17,44 %).

Mots clés : son de blé, son d'orge, son de seigle, fibres alimentaires, qualité nutritionnelle.

Abstract

Our study is based on the valorization of bran of three species of cereals : Wheat, barley, rye. Since the bran is a by-product of cereal, it is a very important source of energy because it is rich in dietary fiber. After a couple of analysis made on bran, this study allowed us to determine their nutritional intake in terms of quantity and quality. After comparing the results obtained from the physicochemical analysis performed on the bran of the three species, we found:

The dietary fiber content of wheat bran (51,7 %) is higher than in rye bran (47,3 %) and barley bran (30,8 %).

Rye bran is rich in starch (20,43 %) compared with barley bran (19,92 %) and wheat bran (19,7 %).

Barley bran (12,71 %) has a lower protein content compared to wheat bran (16,38 %) and rye bran (17,44 %).

Key words: wheat bran, barley bran, rye bran, dietary fiber, nutritional quality.

الملخص

دراستنا تهدف إلى تقييم نخالة ثلاثة أنواع من الحبوب: القمح, الشعير و الجاودار, و النخالة هي منتج ثانوي للحبوب و تعد مصدرا مهما للطاقة في الجسم كونها غنية بالألياف الغذائية. سمحت لنا هذه الدراسة تحديد ما ويمكن أن تقدمه لنا النخالة من فوائد في مجال التغذية كما و نوعا.

بعد المقارنة بين النتائج التي تم الحصول عليها من التحاليل الفيزيوكيميائية التي أجريت على نخالة الأنواع الثلاثة من الحبوب استنتجنا ما يلي:

نسبة الألياف الغذائية في نخالة القمح (51.7) أعلى مما تحتويه نخالة الجاودار (47.3) و نخالة الشعير (30.8).

نخالة الجاودار غنية بالنشأ (20.43) مقارنة مع نخالة الشعير (19.92) و نخالة القمح (19.7).

نسبة البروتين في نخالة الشعير (12.71) أدنى منها في نخالة القمح (16.38) و نخالة الجاودار (17.44).

الكلمات المفتاح: نخالة الجاودار, نخالة الشعير, نخالة القمح, الألياف الغذائية, الجودة الغذائية.

Liste des abréviations

Abs	Absence
°C	Degré Celsius
Cm	Centimètre
FAO	Food and Agriculture Organization
h	Heure
ISO	Organisation Mondiale de Standardisation
Kg	Kilogramme
L	Litre
mg	Milligramme
min	Minute
mL	Millilitre
NA	Norme Algérienne
pH	Potentiel d'Hydrogène
µm	Micromètre
Ech	Echantillon
%	Pourcentage
AFNOR	Association Française de Normalisation
MS	Matière sèche
g	Gramme
PS	Poids spécifique.
NF	Norme Française
NA	Norme Algérienne
SB	Son de blé
SO	Son d'orge
SB	Son de seigle
AFB1	Aflatoxines B1
AFB2	Aflatoxines B2
HI	Hectolitre

CCLS	Coopérative des céréales et des légumes secs
ITGC	Institut technique des grandes cultures
CRIAA	Centre de recherche d'industrie agro-alimentaire
JORA	Journal officiel de la république algérienne
NDF	Neutral Detergent Fiber
ADF	Acid Detergent Fiber
CCM	Chromatographie couche mince
HPLC	La chromatographie en phase liquide à haute performance
ADL	Acid Detergent Lignin
AG	Matière grasse
SAU	Surface agricole utile

Liste des tableaux

Tableau 01 : Composition globale des grains de céréales.	03
Tableau 02 : teneur en acides aminés des protéines des céréales.	05
Tableau 03 : composition en acide gras des lipides des grains de céréales.	06
Tableau 04 : Composition des matières minérales des grains de céréales.	06
Tableau 05 : teneurs moyennes des grains de céréales en vitamines.	07
Tableau 06 : composition chimique du grain de blé.	09
Tableau 07 : composition chimique du grain de seigle.	11
Tableau 08 : composition chimique du grain d'orge.	13
Tableau 9 : Répartition et évolution de la production mondiale de céréales.	15
Tableau 10 : Apports énergétiques de fibres alimentaires.	17
Tableau 11 : les fibres solubles.	20
Tableau 12 : les fibres insolubles.	20
Tableau 13 : Résultats des taux d'extraction de la farine et du son de blé tendre, d'orge et de seigle.	32
Tableau 14 : Taux des impuretés, humidité et le taux du poids spécifique dans l'échantillon de blé tendre.	58
Tableau 15 : Taux des impuretés, humidité et le taux du poids spécifique dans l'échantillon d'orge.	59
Tableau 16 : Taux des impuretés dans l'échantillon de seigle.	60
Tableau 17 : Teneur en hémicellulose, cellulose et lignine pour le son de blé, d'orge et de seigle.	68

Tableau 18 : teneur en fibre alimentaire totale, soluble et insoluble pour le son de blé, d'orge et de seigle.	69
Tableau 19 : Résultats des analyses microbiologiques pour le son de blé, d'orge et de seigle.	75

Liste des figures

Figure 01: Coupe d'un grain de blé.	09
Figure 04 : Coupe transversale d'un grain de seigle	11
Figure 03: coupe transversale d'un grain d'orge.	12
Figure 04: coupe longitudinale d'un grain d'orge.	13
Figure 05 : Structure de l'acide phytique.	25
Figure 06 : Diagramme de transformation de l'orge.	30
Figure 07 : diagramme de transformation de blé et du seigle.	31
Figure 08: Préparation des dilutions décimales dans le cas des produits solides.	49
Figure 09: Préparation des dilutions décimales dans le cas des produits liquides.	49
Figure 10 : Recherche et dénombrement des levures et moisissures.	51
Figure 11 : Recherche et dénombrement de <i>Clostridium</i> sulfito-réducteur.	54
Figure 12: teneur en eau des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	61
Figure 13: teneur en cendres des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	62
Figure 14: teneur en matière grasse des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	63
Figure 15: teneur en protéines des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	64
Figure 16: teneur en acidité grasse des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	65
Figure 17: teneur en amidon des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	66
Figure 18: teneur en cellulose brute des sons de blé tendre	

d'orge et de seigle.	67
Figure 19: teneur en polysides pariétaux des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	69
Figure 20: teneur en fibres totales des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	70
Figure 21: teneur en fibres solubles des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	71
Figure 22: teneur en fibres insolubles des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	72
Figure 23: teneur en acide phytique (% de MS) des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	73
Figure 24: Absorption et rétention d'eau des sons de blé tendre d'orge et de seigle.	74
Figure 25 : Résultat du dosage des aflatoxines pour le son de blé tendre d'orge et de seigle.	76
Figure 26 : chromatogramme des standards de l'AFB1 et de l'AFB2.	77
Figure 27: Chromatogramme de son des trois types de céréales étudiés blé, orge et seigle.	78

Sommaire

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur les céréales	3
1. Définition	3
2. Classification	3
3. Composition chimique	3
4. le blé	7
5. Le seigle	10
6. L'orge	11
7. situation économique des céréales	13
8. Les mycotoxines	15
Chapitre II : Les fibres alimentaires	16
1. Définition	16
2. Principales sources de fibres alimentaires	17
3. Composition chimique	17
4. Propriétés physico-chimiques	19
5. Teneur en fibres alimentaires des céréales et produits céréaliers	20
6. Effets des fibres alimentaires sur la santé	21
7. Les substances anti nutritionnelles	24
Partie II : Partie expérimentale	
Chapitre I : Matériel et méthodes	26
1. Matériel d'étude	26
2. Préparation des échantillons	26
3. Mouture expérimentale	29
5. Méthodes d'analyses	33

5.1. Analyses physico-chimiques	33
5.2. Analyses microbiologiques	48
5.3. Analyse toxicologique	55
Chapitre II : Résultats et discussions	57
1. Analyses des grains	57
2. Analyses du son	60
2.1. Analyses physicochimiques	60
2.2. Analyses microbiologiques	75
2.3. .Analyses toxicologiques	75
Conclusion	79

INTRODUCTION

Introduction

La sécurité alimentaire durable est un objectif fondamental et vital pour l'Algérie et il dépend considérablement de la production céréalière. Car les céréales sont très importantes tant sur le plan agronomique et économique que social. De même qu'elles constituent la base de l'alimentation et occupent une place privilégiée dans les habitudes alimentaires des populations aussi bien dans les milieux ruraux qu'urbains.

Les sous produits de la mouture (sons) sont principalement destinés à l'alimentation du bétail. Le son pourtant comporte plusieurs éléments nutritifs et possède plusieurs propriétés bénéfiques pour la santé. Cependant et grâce à leurs vertus diététiques reconnues elles sont maintenant intégrées aux régimes consécutif à la plus part des pathologies, et il y'a longtemps qu'elles figurent au menu des sportifs de compétition.

L'alimentation méditerranéenne traditionnelle est riche en fibres, cependant l'ingestion de fibres alimentaire a considérablement diminué depuis le début du siècle à cause de l'intensification du raffinage des céréales et du bouleversement des habitudes alimentaire dans les pays industrialisés : en particulier la diminution de la consommation des céréales et des légumes secs. Le son a la capacité de retenir l'eau, celle-ci est proportionnelle à la taille du flocon.

D'après ADEM et *al*, 2003 la recommandation du conseil national de la nutrition pour l'apport totale en fibres alimentaires est de 35g par jour.

Depuis quelques années, les recherches en Algérie sur le rôle de la fraction « fibre » se développent et portent essentiellement sur les effets, de fibres alimentaires en pathologie humaine. (KOUIDRI, 1999)

Cependant, le rôle joué par les fibres alimentaires dans différentes pathologie de l'homme à savoir les pathologies du tractus digestif (CHEVALLIER, 2009) et (BERREBI, 2006), les maladies cardio-vasculaires glycémie CABALLERO (2009), **cholestérol sanguin** (SHILS et SHIKE, 2006), **l'obésité** (INSEL et *al*, 2010), cancer du côlon (APFELDORFER, 2009).

Notre travail a été donc entrepris afin de valoriser un sous produit de mouture, à savoir : le son de blé tendre, d'orge et de seigle en vu de son incorporation dans les produits diététiques. Une pratique qui ne semble pas été réellement appliquée ici en Algérie. Cependant, à l'heure actuel, la majorité des minoteries ne récupèrent pas les sons, elle les oriente vers l'alimentation du bétail, ce qui constitue une certaine perte pour le producteur et le consommateur.

Les objectifs de ce travail sont :

- Caractérisation du son de blé tendre, d'orge et de seigle sur le plan : physico-chimique, microbiologique et toxicologique.
- Comparaison nutritionnelle et compositionnelle des trois types de son des céréales étudiés (blé tendre, orge et seigle).

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

Chapitre I : Généralités sur les céréales

1. 1. Définition :

Les céréales sont des plantes herbacées, monocotylédones appartenant à la famille des graminées et donneurs des grains farineux propres à l'alimentation de l'homme et des animaux domestiques (FEILLET, 2000).

1.2. Classification :

D'après DOUMANDJI (2003), l'appellation céréales est réservée aux différentes espèces de plantes appartenant à l'embranchement des phanérogames (règne végétal) renfermant des plantes dont les organes reproducteurs sont apparents, au sous embranchement des angiospermes regroupant les plantes à fleurs et à fruits typiques, et aux monocotylédones.

Famille : graminées ou poacées.

Espèces :

- Blé tendre : *triticum vulgare* ou *triticum aestivum* (3 génomes).
- Orge : *hordeum vulgare* utilisé en alimentation humaine, animal et en brasserie.

3. Composition chimique :

Les grains de céréales sont constitués de cellulose et de toutes les substances nécessaires au développement du germe : glucides, protides, minéraux, vitamines (Tableau 1) (GODON et WILLM, 1998).

Tableau 1 : Composition globale des grains de céréales (En pourcentage du grain humide)

Espèces	Eau	Amidon et petits glucides	Protides	Lipides	Cellulose hémicellulose et pentosanes	Minéraux
Avoine	13	53	11,7	5,3	14,0	3,0
Blé	14	65	12,5	1,7	4,9	1,9
Maïs	14	60	10,0	5,0	10,0	1,0
Orge	15	60	10,0	2,1	10,2	2,6
seigle	15	63	11,5	1,7	6,8	2,0
Triticale	14	64	12,5	1,7	5,8	2,0

(GODON et WILLM, 1998)

3.1. L'eau :

D'après GODON *et* WILLM (1998), les grains de céréales sont particulièrement déshydratés. Leur teneur en eau est aux environs de 14 % (Tableau 1) du fait de leurs fonctions, d'abord protectrice de l'embryon, puis ensuite nourricières de la jeune plante.

3.2. Les glucides :

Les glucides, substances particulièrement énergétiques sont nettement majoritaires (plus de 60 % de la matière humide ou 80 % de la matière sèche). Ils sont principalement constitués par de l'amidon rassemblé sous forme de granules.

Un ensemble de composés glucidiques de structure est aussi présent dans les grains. Sa teneur varie de 2 % de la matière humide jusqu'à 10 % dans le cas de l'avoine. Dans cet ensemble, la cellulose est le principal polysaccharide de structure des végétaux et sa constitution semble indépendante de l'origine de la plante (GODON *et* WILLM, 1998).

3.3. Les protéines :

Les céréales réalisent souvent à elles seules un apport protéique très important en raison de leur prépondérance dans la ration de nombreuses populations.

Quantitativement, la teneur en protéines varie de 10 à 12,5 % de la matière humide. Formées de peu d'acides aminés libres et de peptides, mais surtout de protéines (polymère d'acides aminés). Ces composés sont importants pour les utilisations industrielles à cause de leurs propriétés dites fonctionnelles (GODON *et* WILLM, 1998).

Qualitativement, ces protéines sont médiocres : l'acide aminé limitant est la lysine. La concentration des acides aminés soufrés est plus élevée que dans les légumineuses, d'où l'intérêt de l'association des céréales et des légumineuses qui se complètent ainsi mutuellement (FAVIER, 1989).

La composition en acides aminés des protéines entre les différentes céréales est présentée au niveau du tableau 2.

3.4. Les lipides :

Les lipides, ou matières grasses, sont peu représentés dans les grains de céréales. Ceux de l'avoine et du maïs en possèdent 5 % de leur matière humide tandis que les autres céréales n'en contiennent que 2% environ. Ces lipides sont riches en acides gras insaturés comme le montre leur composition figurant sur le tableau 3.

Les deux tiers de ces lipides sont extractibles par l'éther : on les appelle des lipides libres par opposition aux lipides liés aux autres constituants protéiques ou glucidiques.

Tableau 2: Teneur en acides aminés des protéines des céréales (en grammes pour 16 gramme d'azote) (GODON *et* WILLM, 1998)

	Protéine animale	Avoine	Blé	Maïs	Orge	Seigle	Triticale
Acide aspartique	9,8	7,8	4,8	6,3	5,9	7,4	5,2
Thréonine	4,8	3,5	2,9	3,5	3,4	3,4	3,2
Sérine	4,3	4,8	4,7	4,7	4,3	4,5	4,7
Acide glutamique	16,2	19,8	29,2	18,8	23,1	21,7	25,4
Proline	5,1	5,3	9,8	8,5	10,8	8,7	9,2
Glycine	6,5	5,1	3,9	3,9	4,2	4,3	4,2
Alanine	7,0	4,9	3,7	7,6	4,2	4,4	4,1
Valine	6,4	5,8	4,9	5,1	5,5	5,1	5,0
Isoleucine	5,5	4,2	3,8	3,9	3,9	3,8	3,8
Leucine	8,7	7,3	6,8	12,4	7,0	6,3	6,6
Tyrosine	3,8	4,1	3,1	4,6	3,3	2,8	3,0
Phénylalanine	4,5	5,1	4,7	5,1	5,3	4,5	4,6
Méthionine	2,8	1,6	1,5	1,9	1,9	1,6	1,5
Cystéine	1,3	3,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,5
Lysine	9,4	4,2	2,8	2,9	3,6	4,1	3,5
Histidine	2,4	2,2	2,3	2,7	2,1	2,2	2,3
Arginine	6,8	6,3	4,7	4,8	4,8	5,5	5,2
Matières azotées en % de la matière sèche		9,7	12,5	11,7	11,0	11,4	12,5

Tableau 3 : Composition en acide gras des lipides des grains de céréales (en % du total des acides gras) (GODON *et* WILLM, 1998).

Espèces	Acide palmitique C16	Acide oléique C18:1	Acide linoléique C18:2	Acide linoléique C18:3
Avoine	17	37	41	5
Blé	18	15	63	4
Maïs	12	26	60	2
Orge	25	8	61	6
seigle	21	7	64	8

3.5. Les minéraux :

Les matières minérales sont présentes à raison de 2 à 3 % de la substance humide du grain. Tous les éléments minéraux y sont représentés mais, évidemment, dans des proportions très différentes. Le tableau 4 indique la composition des matières minérales des grains de céréales et des cendres obtenues à partir de ces grains (GODON *et* WILLM, 1998).

Tableau 4 : Composition des matières minérales des grains de céréales

Éléments	En (mg) pour 100 g de matière sèche	En % des cendres
Potassium	300-600	23-27
Phosphore	200-500	20-25
Soufre	100-250	7-10
Magnésium	100-250	7-10
Chlore	50-150	3,5
Calcium	25-100	2,3
Zinc	6-10	0,3-0,5
Sodium	2-10	0,2-0,5
Fer	2-5	0,2-0,3
Manganèse	3-5	0,2
Silicium	6	0,3
Cuivre	0,4-1	0,05
Autres éléments	0,5	0,01

3.6. Les vitamines :

Les vitamines n'apparaissent pas dans le tableau 1 parce que leur teneur est beaucoup plus faible que celle des autres constituants, cependant leur intérêt nutritionnel est important. Les grains de céréales contiennent surtout trois vitamines : la vitamine B1 (thiamine), la vitamine B2 (Riboflavine) et la vitamine PP (niacine).

Les diverses céréales présentent des différences de richesses en vitamines assez peu importantes (tableau 5).

Tableau 5 : Teneurs moyennes des grains de céréales en vitamines (mg pour 100g de grain) (GODON *et* WILLM, 1998).

Espèces	Thiamine (B1)	Riboflavine (B2)	Niacine (PP)	Acide pantothénique	Pyridoxine (B6)	Tocophérol E
Avoine	0,60	0,14	1,30	1,20	0,40	3,0
Blé	0,52	0,12	6,00	0,35	0,50	2,0
Maïs	0,37	0,12	2,20	0,55	0,70	1,5
Orge	0,50	0,18	5,50	0,80	0,30	1,1
Seigle	0,40	0,22	1,60	0,90	—	—
Triticale	0,47	0,18	3,2	0,65	—	—

4. Le blé :

4.1. Définition :

Le grain du blé est la plante céréalière la plus noble, elle peut s'adapter à des sols et des climats très variés, actuellement, suivant les variétés, la couleur des grains de blé tendre varie généralement au roux ou blanc (BOURDREAU *et* MENARD, 1992).

Le blé est la céréale la plus consommée directement par les humains dans le monde et la plus échangée sur les marchés internationaux. La culture de cette graminée, originaire des steppes semi-arides du Proche-Orient est étroitement associée aux peuples méditerranéens et européens. Produit dans des contextes agronomiques, économiques, sociaux et politiques très divers. Cette céréale est principalement consommée directement par les humains, sous forme de pain, galettes, pâtes, biscuits...etc (CHARVET, 2010).

4.2. Morphologie et structure :

Le grain de blé est obtenu après le battage, c'est-à-dire une fois que les balles enveloppant le grain ont été supprimées. La couleur des grains de blé varie généralement du roux au blanc et pourpre (ARMAND *et* GERMAIS, 1992).

FEULLET, 2000 arbore qu'un grain de blé est formé de trois régions (figure 1):

- **L'albumen** : constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice

protéique et dont les parois cellulosesiques sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80 – 85 % du grain).

- **Les enveloppes:** de la graine et du fruit, formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppes de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13 – 17 %). Les parties constituantes sont riches en matières minérales et possèdent également une teneur élevée en fibres alimentaire et en acide phytique (ARMAND *et* GERMAIS, 1992).
- **Le germe :** (3%) composé d'un embryon et du scutellum. Comparativement à d'autres céréales, du maïs et du riz en particulier, le grain de blé possède un sillon résultant d'une invagination des téguments vers l'intérieur du grain, sur toute sa longueur et du côté du germe.

La longueur du grain (plus grande dimension) est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4mm, son épaisseur entre 2,5 et 3,5 mm, sa section longitudinale entre 10 et 16 mm², sa section transversale entre 4 et 7,5 mm², son poids entre 20 et 50 mg et sa densité entre 1,3 et 1,4.

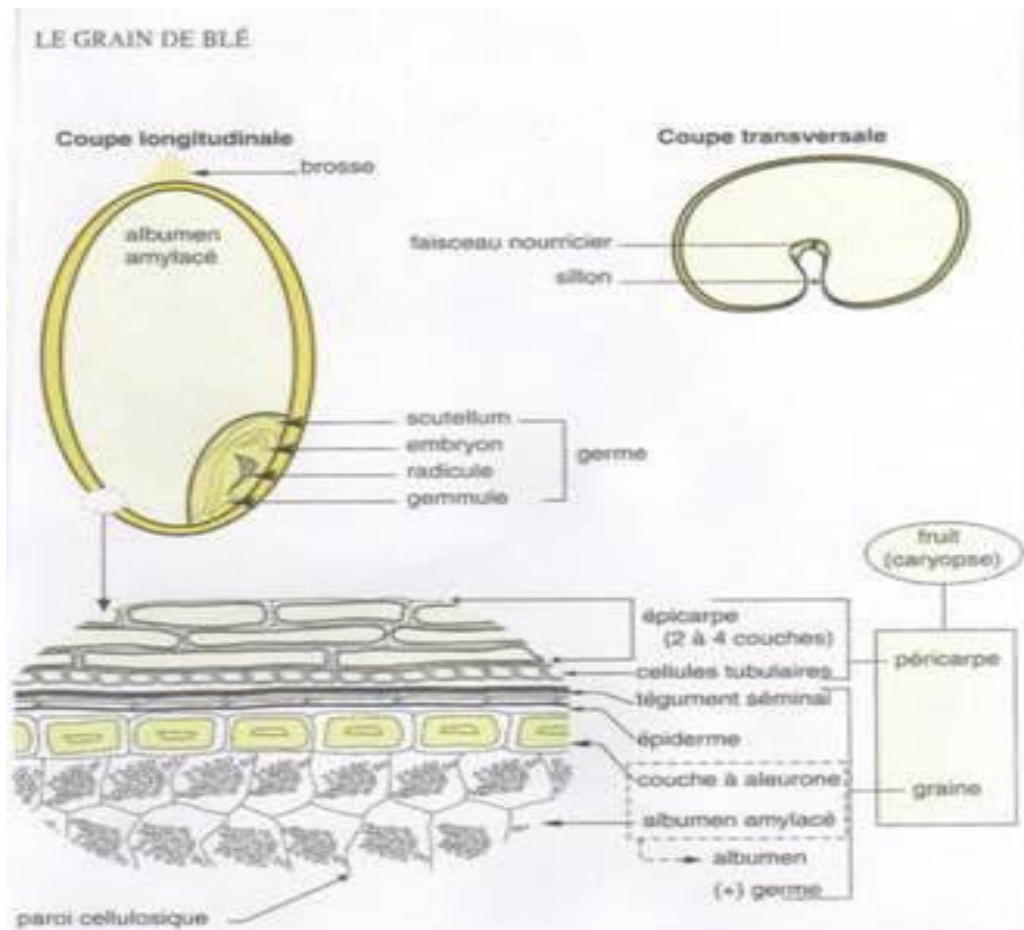


Figure 1 : Coupe d'un grain de blé (FEUILLET, 2000)

4.3. Composition et valeur nutritive :

La composition chimique d'un grain de blé est mentionnée dans le tableau 6.

Tableau 6 : Composition et valeur nutritive d'un grain de blé tendre

Composition	Teneur (%)
Matière sèche	86,8 ± 1,1
Protéines brute	10,5 ± 0,9
Cellulose brute	2,2 ± 0,3
Matière grasse brute	1,5 ± 0,2
Cendre brute	1,6 ± 0,2
Cendre insoluble	0,1
NDF (Neutral detergent fiber)	12,4 ± 1,7
ADF (Acid detergent fiber)	3,1 ± 0,5
ADL (Acid detergent fiber)	1 ± 0,3
Parois végétales	9,7 ± 0,8
Amidon	60,5 ± 1,9
Sucre totaux	2,4 ± 0,8
Energie brute (kcal/kg)	3780 ± 70

5. Le Seigle :

5.1. Définition :

CHARVET (2010) indique que le seigle (*Secale cereal*) est une céréale originaire du Moyen-Orient qui demeure aujourd'hui encore assez largement cultivée en Europe. Les superficies qui lui sont consacrées ont considérablement diminué depuis le XVIII^e siècle.

Le seigle est une graminée (*Poaceae*) de grande taille (jusqu'à 2 mètres de hauteur) dont les épis sont allongés et barbus. C'est, comme le blé, une céréale panifiable; sur le plan écologique, il présente l'avantage d'être plus rustique, plus résistant au froid, plus précoce et surtout mieux adapté aux terres froides, acides et lessivées.

5.2. Morphologie et structure :

D'après BUSHUK (2001) la structure du grain de toutes les céréales est assez semblable, il est constitué de l'enveloppe, l'albumen amylicé (amande farineuse) et le germe (figure 04).

- **Les enveloppes :**

Les enveloppes représentent 10 à 15% du grain, comprennent à la fois celles du fruit en périphérie et celle de la graine liées aux premières :

- Le tégument du fruit (épicarpe), comprend l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe.
- Le tégument de la graine, comprend le tégument séminal (testa) et la bande hyaline.
- La couche à aleurone qui se caractérise par sa teneur élevée en protéines.

- **L'endosperme :**

L'endosperme (80 à 85% du grain) se présente sous forme de cellules contenant des granules d'amidon autour desquels apparaissent des matrices protéiques.

- **Le germe :**

Le germe représente 2 à 3% du grain, comprend l'embryon et constitue une source très importante de protéines, vitamines.

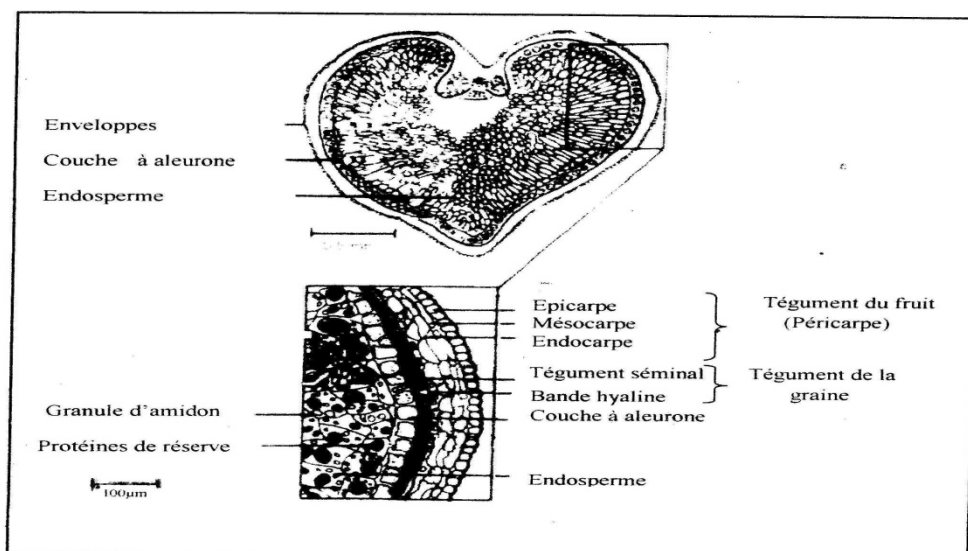


Figure 2 : Coupe transversale d'un grain de seigle (BUSHUK, 2001)

5.3. Composition et valeur nutritive :

La composition chimique d'un grain de seigle est mentionnée dans le tableau 07.

Tableau 7 : Composition et valeur nutritive d'un grain de seigle

Composition	Teneur (%)
Matière sèche	87,3 ± 1,1
Protéines brute	9 ± 0,9
Cellulose brute	1,9 ± 0,3
Matière grasse brute	1,2 ± 0,2
Cendre brute	1,8 ± 0,2
Cendre insoluble	
NDF (neutral detergent fiber)	14,1 ± 1,7
ADF (acid detergent fiber)	3,1 ± 0,5
ADL (acid detergent lignin)	0,9 ± 0,3
Parois végétales	11,7 ± 0,8
Amidon	53,8 ± 1,9
Sucre totaux	3,2 ± 0,8
Energie brute (kcal/kg)	3750 ± 70

6. L'orge :

6.1. Définition :

L'orge est originaire d'Asie, c'est une céréale dont l'aire de culture est particulièrement étendue en latitude. En raison de la concurrence des autres plantes fourragères, la production mondiale d'orge apparaît aujourd'hui en léger repli : elle

est passée de 165 millions de tonnes au début des années 1970 à 133 millions de tonnes en 2008.

L'orge (*Hordeum vulgare*) est une graminée (*Poaceae*), d'une hauteur moyenne d'un mètre, très voisine du blé mais qui s'en distingue par ses épis allongés et toujours barbus (CHARVET, 2010).

NYABYENDA (2005) indique que l'orge est utilisée pour la fabrication de la bière industrielle, pour l'alimentation animale et dans la fabrication des aliments pour bébés.

6.2. Morphologie et structure :

Comme toute graine, l'orge est constituée d'un embryon ou germe représentant 3 % de la masse du grain séparé de l'amande appelée endosperme ou albumen. Cet albumen constitue les réserves du grain sous forme d'amidon entouré de structures hémicellulosiques, véritables sacs. A la périphérie du grain, deux zones de tissus sont importantes. La couche d'aleurone, riche en protéines dont des enzymes à l'état latent, et la testa, membrane semi-perméable, qui laissera passer l'eau mais retient les sels minéraux lors du trempage en début de germination (Figure 1 et 2) (HEBERT et GRIFFON, 2010).

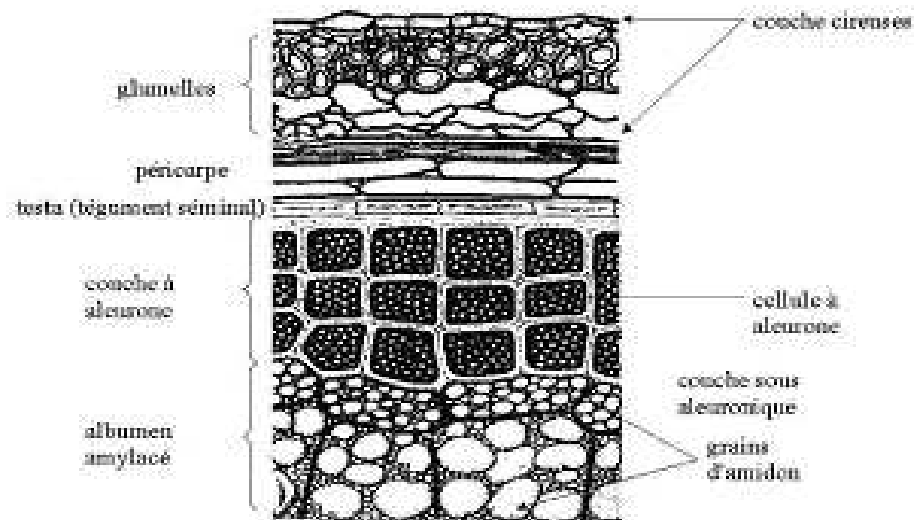


Figure 3 : Coupe transversale d'un grain d'orge (NUZILLARD et al, 2004)

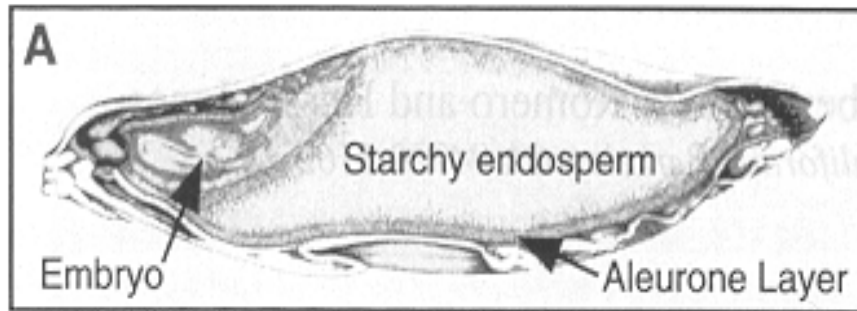


Figure 4 : Coupe longitudinale d'un grain d'orge (YOUNG et GALLIE, 2000)

6.3. Composition et valeur nutritive :

La composition chimique d'un grain d'orge est mentionnée dans le tableau 8.

Tableau 8 : Composition et valeur nutritive d'un grain d'orge

Composition	Teneur (%)
Matière sèche	86,7 ± 1,2
Protéines brute	10,1 ± 0,9
Cellulose brute	4,6 ± 0,7
Matière grasse brute	1,8 ± 0,2
Cendre brute	2,2 ± 0,2
Cendre insoluble	0,5 ± 0,1
NDF (neutral detergent fiber)	18,7 ± 3,2
ADF (acid detergent fiber)	5,5 ± 0,9
ADL (acid detergent lignin)	1 ± 0,3
Parois végétales	14,9 ± 1,4
Amidon	52,2 ± 2,3
Sucre totaux	2,1 ± 0,7
Energie brute (kcal/kg)	3810 ± 60

7. Situation économique des céréales :

Les céréales constituent toujours la principale denrée car elles peuvent croître dans les sols et sous les climats les plus variés. De plus, elles peuvent être entreposées pendant de longues périodes et transportées de manière économique sur de longues distances sans occuper beaucoup d'espace. Enfin, elles peuvent être utilisées à l'état naturel ou être rapidement transformées pour l'alimentation humaine (BOURDREAU et MENARD, 1992).

7.1. Cas de l'Algérie :

Le développement de l'industrie de transformation des céréales a suivi non pas les disponibilités de la production, mais la demande finale dont le niveau est particulièrement élevé. Les Algériens accordent, en effet, une place prépondérante aux céréales dans leur alimentation. Celle-ci présente, de ce fait, un déséquilibre entre les apports en calories et en protéines au détriment des secondes. Une telle situation est le résultat de plusieurs éléments : le prix élevé des protéines animales, les ruptures fréquentes de certains approvisionnements (œufs), l'insuffisance de certaines productions (lait et produits laitiers) et enfin, la disponibilité élevée des céréales grâce aux importations et à la politique de distribution mise en place (TOUNSI, 2007)

Ainsi, l'urbanisation de l'Algérie ne s'est pas traduite par une modification fondamentale du comportement alimentaire de ses habitants. Nous pourrions dire qu'il s'est produit un phénomène de ruralisation du modèle de consommation urbain. L'industrie céréalière algérienne n'échappe pas aux influences de l'évolution mondiale. L'évolution de l'industrie céréalière algérienne est influencée par celle des agro-industries dans le monde, en raison de sa dépendance à l'égard du marché international des produits de base, mais aussi de ceux de l'équipement et de la technologie (TOUNSI, 2007).

7.2. Dans le monde :

D'après ABECASSIS et BERGEZ (2009), le maïs est la première des céréales produites dans le monde, suivie de près par le blé et le riz (Tableau 6). Ces trois céréales représentent 86 % de la production mondiale. Le maïs a connu une forte croissance depuis quatre décennies (production multipliée par 3,3) et est devenu la première céréale produite dans le monde, avec près de 700 Mt en 2003-2005. Cependant, le maïs a une destination majoritaire vers l'alimentation animale, contrairement au riz.

Au niveau mondial, les surfaces céréalières représentent un peu plus de la moitié (50,7%) de la SAU en 2003-2005, ce qui est une régression relative par rapport à la période 1961-1963, dans la mesure où elles représentaient 59,9 % de cette même SAU. Du point de vue nutritionnel, la consommation de céréales, en 2003-2005, représente 49,9 % de la ration calorique mondiale. Cette part des

céréales dans la ration mondiale est relativement stable puisqu'en 1961-1963, elle était de 50,5 %.

Tableau 9 : Répartition et évolution de la production mondiale de céréales

Grains	Moyenne 2003-2005 (Mt)	% de la production totale de céréales	Evolution de 1962 à 2004* (/)
Maïs	694	31	3,3
Blé	608	28	2,6
Riz (paddy)	605	27	2,6
Orge	145	7	1,7
Sorgho	59	3	1,3
Mil	31	1	1,2
Avoine	26	1	0,5
Totale céréales	2208	100	2,4

* L'évolution entre 1962 et 2004 est le rapport entre la production de 2004 et celle de 1962

Les deux grands pays asiatiques (l'Inde et la Chine) dominent la production mondiale, avec 29 % de celle-ci, ils sont suivis par les Etats-Unis et la Fédération de Russie. Ces quatre pays sont extrêmement étendus et pratiquent une agriculture relativement extensive par opposition avec les pays européens qui bénéficient des rendements les plus élevés.

Les céréales constituent les principaux produits agricoles échangés sur le marché international (80 % des exportations mondiales de produits agricoles en (2002-2004). Au sein des céréales, les échanges de blé et de maïs dominent largement.

8. Les mycotoxines :

Les céréales sont des vecteurs importants de mycotoxines puisqu'elles sont universellement consommées par l'Homme et les animaux. L'enquête réalisée par PITTET (1998) à l'échelle mondiale montre que de 25 à 40 % des céréales sont contaminées par les mycotoxines. Parmi les toxines les plus dangereuses, on trouve les aflatoxines issues d'*Aspergillus flavus* et *A. parasiticus*, qui sont des moisissures de stockage (DOUMANDJI, 2009).

Les aflatoxines ont été placées depuis 1993 dans le groupe 1 des carcinogènes par le Centre International de Recherche sur le Cancer. Elles sont fréquemment présentes dans les céréales (FAO, 2003).

CHAPITRE II

Chapitre II :

Les fibres alimentaires

1. Définition :

D'après GREENFIELD et *al* (2007), les fibres alimentaires doivent être considérées comme faisant partie de la fraction glucidique dans les aliments. Le problème principal dans le choix de la méthode d'analyse et dans son interprétation dans une optique analytique. Le terme a d'abord été utilisé en 1953 au Royaume-Uni par HIPSLEY pour décrire la somme des hémicelluloses, de la cellulose et de lignine dans les aliments, en d'autres termes, les composantes des parois cellulaires de plantes. TROWEL, en 1972, a repris ce terme pour identifier les "composants des parois végétales cellulaires indigestes des aliments" ces deux termes restaient trop vagues pour être utilisés pour élaborer une stratégie analytique. En 1976, TROWEL et *al*. Ont proposé que les fibres alimentaires soient définies comme "la somme des polysaccharides végétaux et de la lignine qui ne soient pas digérés par les enzymes du tractus gastro-intestinal". Cela était quasiment analogue aux "glucides indisponibles" définis par MCCANCE et LAWRENCE (1929) et mesurables par les méthodes décrites par SOUTHGATE (1969).

Il existe plusieurs classifications possibles, mais la plus usitée se fonde sur la solubilité au cours du transit digestif.

- **Les fibres insolubles (cellulose, lignine)**

Elles sont les plus efficaces pour améliorer la rapidité du transit et donc éviter la constipation ; elles restent en suspension et gonflent; elles retiennent 9 à 25 g d'eau par g.

- **Les fibres solubles (pectines)**

Elles forment des gels et sont totalement dégradées dans le côlon; elles ralentissent la vidange gastrique et prolongent la sensation de satiété, ce qui en fait de précieux alliés dans les régimes restrictifs. Leurs propriétés adsorbantes expliquent leur utilisation comme antidiarrhéique (pectine de la pomme, de la carotte, de la caroube).

A l'état naturel, les fibres sont toujours associées entre elles et à d'autres nutriments comme les minéraux, les protides, les vitamines (FRENOT et VIERLING, 2002).

2. Principales sources de fibres alimentaires :

Ce sont par ordre d'importance décroissante :

- Les céréales : blé complet (7 à 15%), seigle, orge et avoine;
- Les légumes secs : lentilles, pois chiches, haricots;
- Les légumes et fruits : la teneur dépend de l'état frais ou sec; les pourcentages sont modestes dans les légumes et fruits frais fortement aqueux (de 0.8 à 4%), mais de grande quantité sont consommées. Les fruits secs (pruneaux, abricots) sont intéressants;
- Les amidons résistants: la partie amidon des aliments qui a échappé à l'action des enzymes digestifs et n'a pas été absorbée.

Le tableau 10 montre les apports énergétiques de fibres alimentaires selon la classification (FRENOT ET VIERLING, 2002).

Tablea10 : Apports énergétiques de fibres alimentaires.

Aliment	Fibres en g/100g	Apport énergétique en KJ/100g	Apport énergétique en KJ/25g de fibres
Son	50	520	260
Pain complet	7	825	2946
Pain blanc	2,7	1066	9870
Haricots secs	25	1421	1421
Petits pois	5,2	297	1428
Epinards	6,3	96	381
Haricots verts			
Chou vert	4,3	123	715
Céleri rave			
Carotte	3,4	110	808
Figues sèches	9,6	1000	2604
Figues fraîches	4,5	252	1400
Pruneaux	9	980	2722
Prunes	2	214	2675
Myrtilles	5	357	1785
Mirabelles	3,5	267	1907
Poires	2,8	184	1643
Pommes	2	220	2750

3. Composition chimique :

La paroi cellulaire des fibres alimentaires est un système complexe composé de quantités variables de lignine, de cellulose, et d'autres polysaccharides tels que hémicellulose, pectine. La composition et la proportion du type de polysaccharide sont en rapport avec la nature du végétal, le stade de maturation et les facteurs de croissance du végétal (WILEY *et* LASTWILEY, 2007).

3.1. La cellulose :

La cellulose est un polymère composé de monomères de glucose liés en $\beta 1 \rightarrow 4$.

La cellulose ressemble à l'amidon, puisqu'elle est formée de monomères de glucose. Cependant ses monomères sont du bêta-glucose, alors que l'amidon est composé d'alpha-glucose.

Les molécules de cellulose sont groupées en micro fibrilles, sont des composants structuraux importants des parois des cellules végétales (PETER *et al*, 2003). Une fibre de cellulose est un paquet de chaînes de cellulose dont la cohésion est assurée par un vaste réseau de liaisons hydrogène grâce aux nombreux groupes hydroxyle présents. La cellulose est insoluble dans l'eau (WILLIAM JOHNSON, 2002).

3.2. Les hémicelluloses

Les hémicelluloses sont composés de l'ensemble des poluolosides autres que la cellulose et les matières pectiques. Les hémicelluloses appartiennent aux groupes des pentosanes et des hexosanes.

Les hexosanes sont essentiellement des chaînes de glucose et de manose. Chez les graminées, les xylanes sont les plus abondants (VIGNAU-LOUSTAU *et* HUYGHE, 2008).

3.3. La lignine

La lignine est un polymère ramifié, formé par trois alcools phénoliques simples (HOPKINS *et* EVRARD, 2003).

La lignine est principalement constituée d'unités de propanephénol typiquement liées par des liaisons éther-carbone ou carbone-carbone avec un degré de polymérisation, DP, valant entre 10 et 50 (NAVI *et* HEGER, 2005).

3.4. Les pectines

Les pectines regroupent différents types de polymères riches en acide galacturonique, rhamnose, arabinose et galactose. Ces polymères sont constitués d'une chaîne principale sur laquelle sont branchés des chaînes secondaires, elles mêmes plus ou moins ramifiées ou substituées.

Les pectines sont caractéristiques de la lamelle moyenne et des parois primaires des dicotylédones (et à moindre degré, des Monocotylédones) (BOULOC, 2006).

3.5. Les β -glucanes

Les β -glucanes sont des polymères linéaires des monomères de

β -D- glucopyranosyl liés par les liaisons (1 \rightarrow 3) et (1 \rightarrow 4) (ULLRICH, 2011).

4. Propriétés physico-chimiques :

Les propriétés physico-chimiques des fibres alimentaires sont:

4.1. Solubilité :

Mise en présence d'eau, les fibres alimentaires ne régissent pas toutes de la même façon, après une étape commune de gonflement au cours de laquelle, l'eau entre dans le solide et écarte les macromolécules. Certains polysides sont solubilisés, d'autres restent insolubles. La solubilité dans l'eau dépend de plusieurs facteurs. Elle est fondée sur les fonctions hydroxyles capables d'interagir avec les molécules d'eau. La régularité structurale de chaînes linéaires ne permet pas à la cellulose qui ne dépasse que l'étape du gonflement dans l'eau (LAIRON, 1991).

Par leur grand pouvoir hydrophile, les fibres augmentent le poids et le volume des selles; elles accélèrent le transit intestinal, séquestrent les sels biliaries et le cholestérol; elles ralentissent l'absorption des glucides; elles peuvent être conseillées comme adjuvant dans le diabète et les hyperlipoprotéinémies (APFELBAUM et ROMON, 2009).

- Les fibres solubles :

Les fibres solubles digérées seulement par les bactéries du côlon (tableau11).

Tableau 11 : les fibres solubles

Fibres solubles	Source
Béta-glucane	Avoine, orge
Pectine	Pomme, betterave, peau d'orange
Pentosannes	Seigle, blé

- Les fibres insolubles :

Les fibres insolubles sont non digérées (tableau 12)

Tableau 12: les fibres insolubles (GENE *et* SPILLER, 2007)

Fibres insolubles	Source
Cellulose	Céréales et son
Lignine	Son de céréales, graines de lin, poire

4.2. Pouvoir d'absorption de rétention d'eau

Les fibres alimentaires permettent une rétention d'eau importante qui va être à l'origine de la formation dans l'intestin de "paquets" de déchets alimentaires qui vont avoir pour rôle d'augmenter le poids et le volume des fèces de 40 à 100%. Ce phénomène améliore les fonctions gastro-intestinales en effectuant une action de grattage sur les cellules de la paroi intestinale, en liant, en diluant les composés chimiques nocifs ou en inhibant leur activité, et en raccourcissant la durée du transit des déchets alimentaires dans le tractus digestif (MCARDLE *et al*, 2004).

4.3. Viscosité et pouvoir gélifiant

APFELBAUM *et* ROMON (2009) indique que la viscosité est un facteur influencé par un apport en fibres solubles dans une solution.

En absorbant de grandes quantités d'eau, les pectines se transforment en gel visqueux qui s'étale en couche mince sur la muqueuse intestinale.

5. Teneur en fibres alimentaires des céréales et produits céréaliers

Tous les produits végétaux sont riches en parois cellulaires et donc contiennent des fibres. Cependant leurs teneurs peuvent varier fortement en fonction de leur origine végétale. La teneur en fibres alimentaires des céréales se situe entre 10 à 15%, et dans les céréales raffinées, le taux de fibres chute à environ 3% (FEILLET, 2000).

6. Effets des fibres alimentaires sur la santé

L'intérêt des fibres alimentaires dans le domaine de la santé est à présent bien connu. Ces constituants majeurs de la composante non énergétique de l'alimentation sont essentiels au bon fonctionnement du système digestif. C'est la raison pour laquelle les fibres sont aujourd'hui considérées comme des nutriments protecteurs de la santé (LECERT et RAGOT, 2006).

6.1. Troubles fonctionnels intestinaux (TFI) :

On considère que de nombreux TFI sont secondaires à une sous-consommation de fibres, les apports quotidiens étant globalement largement insuffisants. Il est donc nécessaire d'encourager leurs apports alimentaires par la consommation accrue de fruits et légumes secs et frais ainsi que de produits à base de céréales 30 g à 40 g devraient être apportées quotidiennement (CHEVALLIER, 2009).

Les fibres alimentaires entraînent une augmentation du volume et de l'hydratation des selles et facilitent ainsi la progression du bol fécal. Le son de blé est le plus prescrit (Berrebi, 2006).

6.2. Fibres alimentaires et glycémie :

CABALLERO (2009) et TROWELL (1975) ont suggéré que l'étiologie du diabète pourrait être liée à une carence en fibres alimentaires. Ceci est supposé par plusieurs éléments clés de la preuve. Les végétariens qui consomment une haute teneur en fibres lacto-ovo-végétariens semblent avoir un risque plus faible de mortalité par maladies liées au diabète par rapport aux non végétariens.

Les fibres alimentaires retardent la vidange gastrique et l'absorption des hydrates de carbone et réduiraient donc l'augmentation de la glycémie consécutive à un repas, ainsi que la sécrétion d'insuline (LECERF et RAGOT, 2006). Environ dix millions d'américains sont diabétiques. Augmenté à un taux de 6 pour cent par an, cette maladie tue plus de 300.000

personnes par an, ce qui nous indique la troisième cause de décès après les maladies cardiaques et le cancer.

Les complications de la cécité, amputations, insuffisance rénale, et le durcissement des artères font un nombre incalculable personnel et un nombre financier calculable environ 15 millions de dollar par an en soins médicaux et la perte de productivité.

Il ya plus de preuves liant le régime alimentaire occidental au diabète que de toute autre maladie. La prévalence du diabète est neuf fois plus élevée que les zones rurales des pays en développement où les gens consomment une alimentation riche en fibres et en glucides complexes.

Des preuves épidémiologiques lient aussi le diabète de sucre élevé avec la consommation de graisses.

Environ 85 pour cent des Américains diagnostiqués avec le diabète sont étiquetés «non insulino-dépendant». Cela signifie que le bon régime alimentaire peut éviter de prendre l'insuline.

Des études récentes suggèrent que le bon régime pour la plupart des personnes atteintes de diabète est une haute teneur en fibres, une grande source de glucides complexes. Ce régime supprime souvent la nécessité d'insuline chez les personnes non insulino-dépendantes et effectivement les manifestations du diabète se réservent. (LORENZANI, 1998)

6.3. Fibres alimentaires et cholestérol sanguin

KRITCHEVSKY *et* STORY ont résumé les influences des fibres alimentaires sur le métabolisme du cholestérol chez les animaux expérimentaux. Dans la plupart des cas, de 2,5 à 10 % de fibres ont été ajoutés à un régime semi purifié. Chez les rats, les fibres solubles - pectine, gomme de guar, gomme de caroube, le son d'avoine et le carraghénane - ont été hypocholestérolémiant. Par contre les fibres insolubles, comme la cellulose, l'hémicellulose et la luzerne n'étaient pas hypocholestérolémiants. Les fibres solubles sont aussi hypocholestérolémiants pour les porcs et les poulets de Guinée.

Jenkins et ses collègues ont étudié les effets des fibres sur la lipidémie chez des sujets humains et ont trouvé que les fibres visqueuses comme la pectine, gomme de guar, gomme de caroube et le son d'avoine, ainsi que les haricots secs, abaissent le sérum de TC et de LDL lorsque ces substances ont été nourries pour fournir de 12 à 30g de fibres par jour.

En discutant spécifiques fibres alimentaires, ces chercheurs ont cité des données montrant que la lignine peut avoir une certaine capacité hypolipémiante. Mais la cellulose n'en a pas. La pectine, indépendamment de son origine est uniformément hypocholestérolémiante, comme la gomme de guar (SHILS et SHIKE, 2006)

6.4. Fibres alimentaires et l'obésité

Les aliments riches en fibres sont généralement faibles en gras et en énergie. Ils offrent un plus grand volume de nourriture et peu de calories et prennent plus de temps pour les manger.

Une fois avalés, les aliments riches en fibres alimentaires prendre plus de temps à quitter l'estomac et ils attirent l'eau, donnant une sensation de plénitude.

Des études montrent que les personnes qui consomment plus de fibres pèsent moins que ceux qui consomment moins de fibres, ce qui suggère que la consommation de fibres a un rôle dans le contrôle du poids. Bien que la recherche prenne en charge le rôle des fibres alimentaires dans la réduction de la faim et la satiété, des études sur certains types de fibres ont produit des résultats contradictoires (INSEL et *al*, 2010).

6.5. Les fibres et le cancer du côlon

Les fibres alimentaires proviennent des aliments d'origine végétale, légumes frais, légumes secs, pain, pâtes et autres céréales, fruits. Comme elles ne sont pas digestibles par le tube digestif humain, elles passent donc dans le gros intestin ou côlon, puis sont évacuées dans les selles. Elles n'en sont pas moins importantes: une alimentation trop pauvre en fibre est source de constipation et favorise le cancer du côlon (APFELDORFER, 2009).

6.6. Les autres effets

Outre la prévention de la constipation et l'amélioration de la glycémie et du profil lipidique, qui constituent les principaux résultats bénéfiques d'un régime alimentaire riche en fibres, il existe d'autres effets intéressants. Les fibres ont par exemple un effet rassasiant grâce à leur volume sans apports de calories supplémentaires, elles contribuent ainsi à la régulation du poids. De plus, la richesse en fibres d'un repas entraîne par la suite une réduction de la prise énergétique pendant la journée. En outre, elles jouent un rôle majeur dans la prévention du cancer du côlon et d'autres cancers hormono-dépendants.

Il est recommandé de consommer des fibres à hauteur de 25 à 30 g par jour, en variant au maximum leurs sources (LECERF ET RAGOT, 2006).

7. Les substances antinutritionnelles :

Les céréales sont très riches en certains minéraux comme le phosphore, le potassium et le manganèse. Elles contiennent aussi du zinc, du cuivre et du fer. Mais cela ne suffit pas à en faire des aliments reminéralisants. Tout d'abord les céréales sont déséquilibrées puisqu'elles contiennent typiquement 10 fois plus de phosphore et 5 fois plus de magnésium que de calcium. L'absorption de beaucoup de minéraux est empêchée par des substances antinutritionnelles, notamment les phytates (CATTAN, 2005).

7.1. Définition de l'acide phytique :

Un des constituants importants des céréales, légumineuse et des oléagineux est l'acide phytique. Le nom systématique dans les graines de plantes est acide myo-inositol 1, 2, 3,5/4,6 hexakis (dihydrogenophosphste) (IUPAC-IUB, 1968). L'acide phytique dans la forme libre est instable, se décomposant pour donner l'acide orthophosphorique, mais la forme de sel sec est stable. Les termes acide phytique, phytate et phytique se réfèrent respectivement à l'acide libre, le sel et le sel de calcium / magnésium. Sous forme de sel, les phytates, représente 85% du phosphore total stocké dans de nombreuses céréales et légumineuses. Des céréales, il varie de distribution, en ce que dans le maïs de la majorité se trouve dans l'embryon, tandis que dans le seigle du blé, le triticale et le riz la plupart des phytates se trouve dans le tissu aleurone (KENT, 1994). L'acide phytique a tendance à limiter l'absorption intestinale de certains éléments (le fer, calcium, etc.) car il fixe, électroniquement, ces minéraux sur les fonctions OH (BOISSEAU, 2005).

7.2. Structure de l'acide phytique :

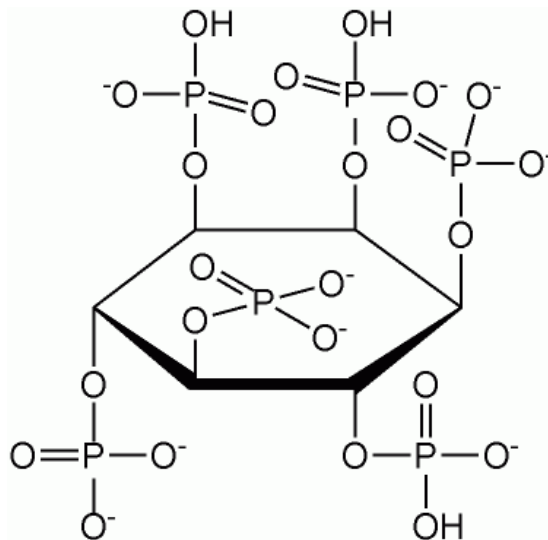


Figure 5 : Structure de l'acide phytique (FRENOT et VIERLING, 2002)

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I

Chapitre I :

Matériel et méthodes

Le matériel et solutions utilisés durant notre expérimentation sont cités en annexe 1.

1. Matériel d'études :

L'étude a porté sur trois types de céréales cultivées localement, le blé tendre, l'orge et le seigle. Les deux premières espèces nous ont été fournies par la coopérative des céréales et des légumes secs (CCLS) de Blida, alors que le seigle par l'institut technique des grandes cultures (ITGC) d'EL Harrach.

Notre choix s'est porté sur des variétés n'ayant pas subi de traitements chimiques.

2. Préparation des échantillons :

Le prélèvement d'environ 2 à 3 Kg de blé et d'orge est effectué manuellement en godet à l'ouverture des portes du camion lors de l'écoulement des grains. Pour obtenir un échantillon représentatif, nous avons prélevé sur 6 points de la remorque, au centre et sur les cotés. En effet, les impuretés les plus légères s'écoulent sur les cotés et les plus lourdes au centre.

Les céréales utilisées pour la mouture sèche doivent être propres et convenablement hydratées pour donner un rendement maximal en farine (Godon, 1991).

La préparation des échantillons a été réalisée au niveau du laboratoire de contrôle de qualité (CRIAA), on passant par un nettoyage suivi d'un conditionnement.

2.1. Le nettoyage :

Il consiste à un nettoyage manuel à sec afin d'éliminer toutes les impuretés : les grains étrangers, grains d'autres céréales, pailles, pierres, pièces métalliques, déchets d'animaux (rongeurs, insectes). Il est également souhaitable d'éliminer les grains mal venus (grains échaudés, ergotés et fusariés) dont la présence pourrait nuire à la qualité des produits de mouture principalement le son (Feuillet, 2000).

2.2. Le conditionnement :

Les grains de céréales une fois débarrassés de toutes les impuretés doivent être préparés à la mouture en les mouillant (hydratation limitée 15 %) et en les mélangeant à l'aide d'un mélangeur pendant 10 mn puis en les laissant au repos pendant 24 heures. Cette préparation permet de créer un gradient d'humidité à l'intérieur du grain pour rendre les enveloppes moins friables et éviter les brisures au niveau des cannelures de broyage.

2.3. Agréage :

L'agréage a été réalisé au niveau du laboratoire contrôle de qualité de CCLS (coopérative des céréales et des légumes secs) de Blida.

2.3.1. Mesure d'humidité :

La mesure d'humidité a été effectuée par un HUMIDIMETTRE

2.3.2. Recherche des impuretés (NA.1.1.78.1999) :

Principe :

Le principe de la détermination des impuretés d'un lot de blé comprend trois étapes principales :

- Le tamisage de l'échantillon pour extraire les grains cassés et les petits grains ;
- Le triage manuel de toutes les autres impuretés après examen visuel de l'échantillon ;
- La pesée des différentes catégories d'impuretés.

Mode opératoire :

- Homogénéiser l'échantillon ;
- Peser 100 g de blé pour chercher les différentes catégories d'impuretés ;
- Le-mettre dans des coupelles ;
- Peser chaque fraction d'impureté à 0,01g près chaque catégorie est présentée en pourcentage (%).

Expression des résultats :

Le pourcentage d'une catégorie d'impuretés est :

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

D'où :

m_0 : la prise d'essai.

m_1 : masse de la catégorie d'impuretés.

Répétabilité :

La différence entre les résultats de deux déterminations effectuées, l'une après l'autre, par la même analyse ne doit pas dépasser 10 g d'impuretés total pour 100 g d'échantillon.

2.3.3. Détermination du poids à l'hectolitre :

La masse à l'hectolitre, dite masse volumique et appelée encore poids spécifique (PS) où l'on mesure la quantité de grains au volume, correspond à la masse des céréales contenues dans un hectolitre.

Principe :

Dans la pratique, la masse à l'hectolitre est la masse d'un hectolitre de grains mesurés en Kg. Il est calculé à partir de la masse d'un litre (Niléma-litre) pour le blé tendre et dur sur un échantillon non débarrassé manuellement des grosses impuretés.

Mode opératoire :

- Remplir la trémie avec du blé puis fixer le cylindre de mesure sur socle, celui-ci doit être posé sur un plan horizontal stable. On obtient la partie

supérieure du mesureur à l'aide d'un couteau à arroseur, la trémie contenant le blé est retirée puis pesée.

- La différence entre deux déterminations effectuées sur le même échantillon l'un après l'autre par la même analyse ne doit pas dépassé 2 g/l.

3. La mouture expérimentale :

Le but de la mouture peut donc être défini comme la libéralisation et la séparation de l'endosperme d'un côté, et des sons et des germes de l'autre côté, ayant pour but de garder la qualité maximale (essentiellement le gluten) et un rendement le plus élevé.

Dans un moulin, il y a trois types de machines importantes :

- les cylindres ou les broyeurs
- les plansichters
- les sasseurs

La mouture est réalisée en combinant les opérations unitaires :

Le broyage et la dissociation des grains à l'aide des appareils à cylindres cannelés (broyeur) ou lisses (claqueur), et le classement granulométrique des produits de la mouture, réalisé dans des plansichters et des bluteries pour extraire les fractions grossières : son (CHARVET, 2010).

La mouture de l'orge subit d'abord une opération de décorticage, ce qui n'est pas le cas pour le blé et pour le seigle.

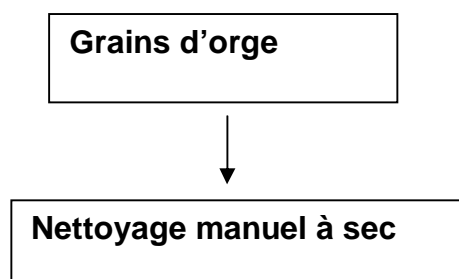
3.1. La mouture de l'orge :

L'orge est introduit d'abord dans un broyeur « BUHLER » à ouverture 9 en passant ensuite au tamisage à l'aide des tamis de diamètres (3,35 mm, 2 mm, 1,18 mm).

L'utilisation des tamis est liée au diamètre de l'ouverture des mailles de ces derniers, elle se fait donc en ordre décroissant afin de récupérer les différents produits de la mouture (Figure 6).

3.2. La mouture du blé tendre et du seigle :

La mouture du blé tendre et du seigle s'effectue de la même manière ; sauf pour le blé tendre, on doit passer d'abord par un conditionnement. Les grains sont introduits dans un moulin d'essai « BRABENDER » pour l'obtention de la farine et du son (Figure 7).



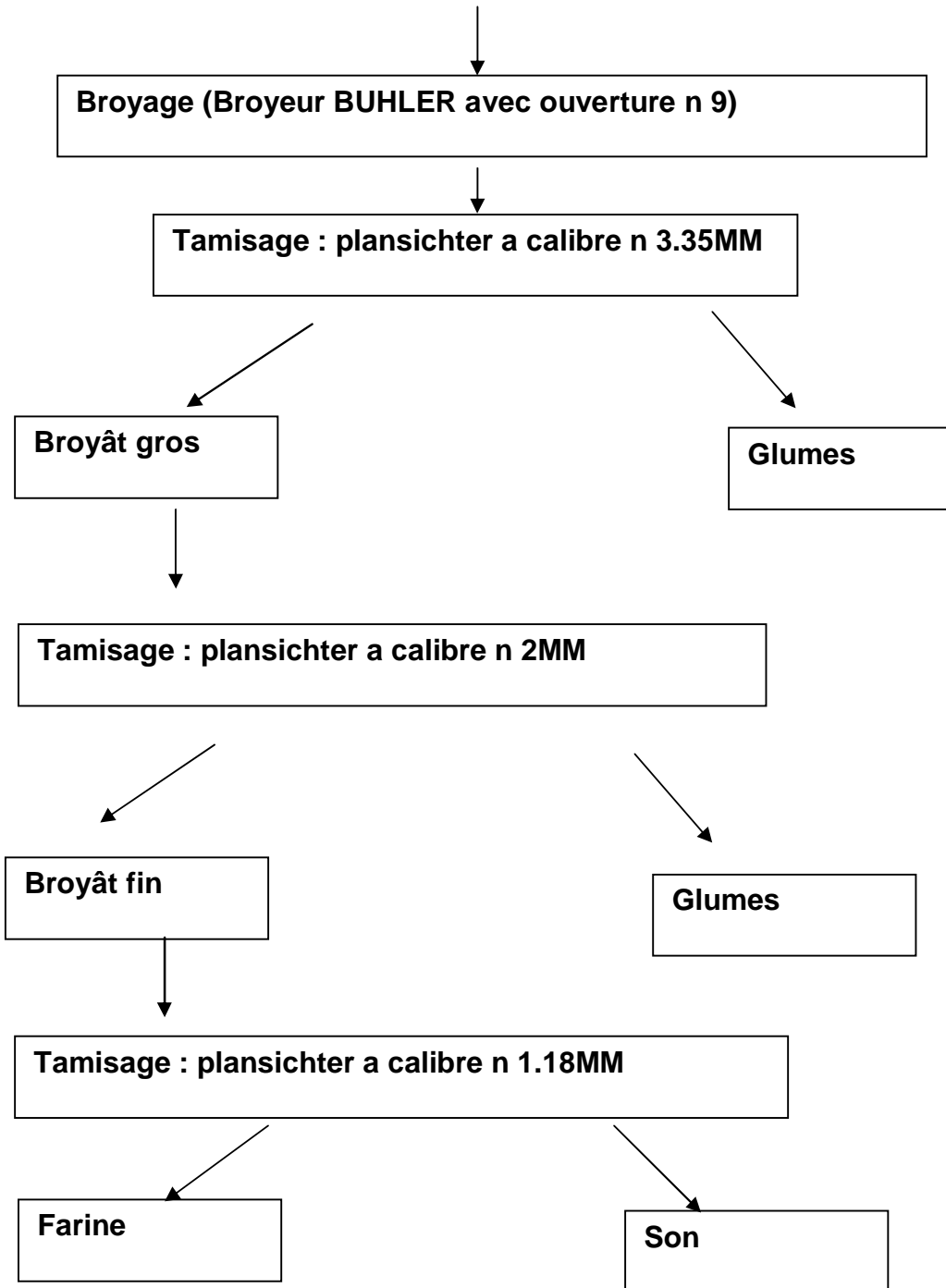


Figure 06 : Diagramme de transformation de l'orge.

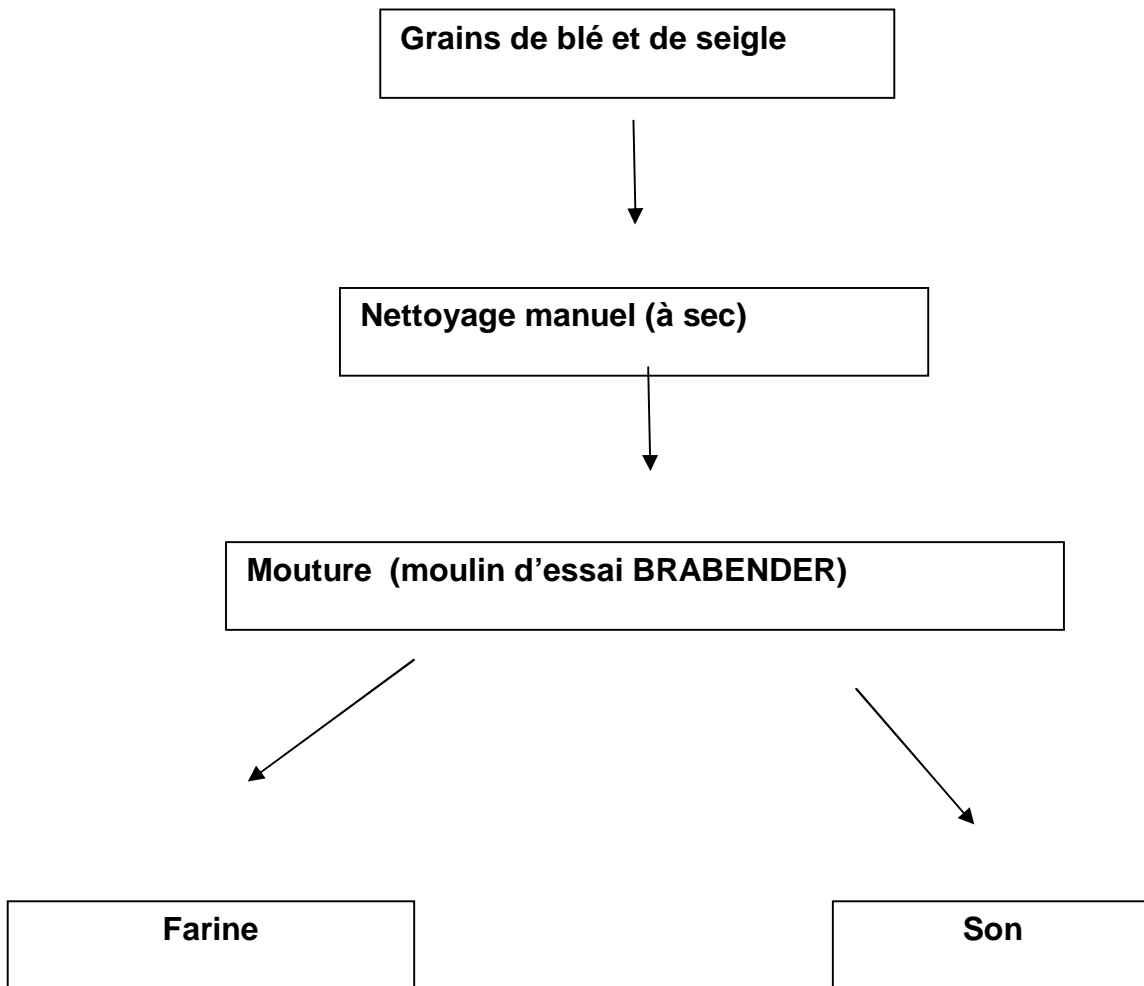


Figure 07 : diagramme de transformation de blé et du seigle

3.3. Les principaux produits de la mouture :

On a utilisé 1 Kg pour les trois types de céréales (Orge, seigle et blé tendre).

➤ **Cas de l'orge :**

Le produit	Poids (g)
Farine	180
Son	320
Gros broyât	120
Fin broyât	280
Glume	150

➤ **Cas de seigle :**

Produit	Poids (g)
Farine	510
Son	490

➤ **Cas de blé tendre :**

Produit	Poids (g)
Farine	710
Son	250

3.4. Le taux d'extraction :

$$T_{\text{ex}} = (P/P_i) \times 100$$

D'où :

T_{ex} : Le taux d'extraction

P : Poids de farine ou son obtenus

P_i : Poids initiale de grains sale

Tableau 13 : Résultats des taux d'extraction de la farine et du son de blé tendre, d'orge et de seigle.

	Blé tendre	Orge	Seigle
Farine (%)	71	58	51
Son (%)	25	23	49

Le blé tendre a donné un taux de farine plus élevé que celui de seigle et d'orge, tandis que le seigle présente un taux de son plus élevé que celui blé et d'orge.

4. Méthodes d'analyses :

4.1. Analyses physico-chimiques :

4.1.1. Détermination de la teneur en eau (NA 1.1.32/1990) :

La teneur en eau est la perte de masse, exprimée en pourcentage, subit par le produit dans les conditions d'écrites dans la méthode utilisée ci-dessous.

Principe :

Séchage de produit à une température de 130°C et une pression atmosphérique normale, après broyage éventuel du produit.

Mode opératoire :

- Sécher les capsules contenant le produit avec leurs couvercles à l'étuve pendant 15mn, à 130°C, puis les-refroidir dans un dessiccateur ;
- broyer 5 g d'échantillon par un broyeur puis peser ;
- Verser ensuite la totalité de la mouture obtenue dans une capsule tarée, adapté rapidement le couvercle ;
- Introduire la capsule dans l'étuve pendant 2 heures ;
- Retirer la capsule rapidement de l'étuve, la-couvrir et la-placer dans le dessiccateur ;
- Peser la capsule.

Expression des résultats

La teneur en eau exprimée en pourcentage en masse du produit tel donné par la formule :

$$H\% = \frac{(m_0 + m_1) - m_2}{m_2} \times 100$$

Où :

m_0 : la masse de prise d'essai avant séchage (en gramme).

m_1 : la masse, en gramme de la capsule et de son couvercle.

m_2 : la masse, en gramme de la capsule, de son couvercle et de la prise d'essai après séchage.

H : Est la teneur en eau, exprimée en pourcentage en masse de l'échantillon pour essai.

4.1.2. Détermination du taux de cendres (Norme AFNOR NF 03-720, 1981) :

La connaissance de la teneur en matières minérales (ou teneur en cendres) permet aux meuniers de régler leurs moulins et de déterminer les taux d'extraction des farines, elle est utilisée pour déterminer le degré de pureté réglementaire des farines.

Méthode par incinération à 900°C :

Il est préconisé d'utiliser la méthode par incinération à 900°C pour les céréales et leurs produits de mouture destinés à l'alimentation humaine.

Principe :

Le principe repose sur l'incinération du produit dans une atmosphère oxydante à une température de 900°C (céréales et produits de mouture) jusqu'à combustion complète de la matière organique durant 1h 15mn à 2 heures. La teneur en cendres est déterminée par la peser du résidu.

Mode opératoire :

➤ Préparation des nacelles :

Bien laver les nacelles, puis les-mettre dans l'acide et avant chaque utilisation il faut les rincer avec l'eau distillée puis les-chauffer dans le four réglé à 900°C pendant 30 mn. Placé ensuite les nacelles dans le dessiccateur et l'y laisser refroidir à la température de laboratoire, puis les peser.

➤ Détermination :

- peser environ 5 g d'échantillon broyé par un broyeur (des grains) et l'introduit dans une nacelle tarée ;
- placer les nacelles dans un four à moufle à 900°C pendant une durée de 2 heures jusqu'à une masse constante ;
- Après une incinération totale, retirer les nacelles du four et les mettre sur une plaque thermorésistante pour refroidir pendant 1 mn puis dans le dessiccateur
- Peser rapidement les nacelles après leurs refroidissements.

Nous avons effectué trois déterminations sur le même échantillon pour essai.

Expression des résultats :

Le taux de cendres exprimé en pourcentage en masse rapportée à la matière sèche et donnée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en cendres} = m_1 \times \frac{100}{m_0} \times \frac{100}{100-H}$$

Où :

m₀ : Masse de la prise d'essai (en g)

m₁ : Masse du résidu (en g)

H : teneur en eau de l'échantillon (en %)

4.1.3. Dosage de l'acidité grasse (Norme AFNOR NF ISO 7305.11.1998) :

L'acidité grasse est l'expression conventionnelle des acides, essentiellement des acides gras libres. Elle est exprimée en gramme d'acide sulfurique pour 100 g de matière sèche.

Principe :

La mesure repose sur un dosage colorimétrique. Les acides gras libres sont mis en solution dans l'éthanol à 95 %.

Après centrifugation, le surnageant est titré par l'hydroxyde de sodium (0,05N).

Mode opératoire :

➤ **Préparation de l'échantillon pour essai :**

Nous avons broyé environ 5 g de produit de telle manière que la totalité du broyât passe à travers le tamis de 500 µm d'ouverture de maille et qu'au moins de 80 % passe à travers le tamis de 160 µm d'ouverture de la maille.

➤ **Détermination de la teneur en eau :**

La détermination de la teneur en eau est effectuée selon la méthode normalisée NA.1.1.32.9 (voir page 33).

➤ **Prise d'essai :**

Nous avons pesé 5 g de produit pour essai, après l'avoir bien homogénéisé.

➤ **Détermination :**

1. Extraction :

- Nous avons introduit la prise d'essai dans un tube de 50ml ensuite on a ajouté 30ml d'alcool éthylique à 95%, le tube est fermé hermétiquement.

Une agitation est effectuée pendant une heure à l'aide d'un agitateur mécanique opérant à la température ambiante.

- Puis on centrifuge le produit à deux reprises successives à l'aide d'une centrifugeuse pendant 2 mn (ces deux centrifugations sont plus efficaces qu'une seule pendant longue durée car elles permettent d'éliminer les particules restant en suspension).

2. Titrage :

- Nous avons prélevé à l'aide d'une pipette 20ml du liquide surnageant parfaitement limpide et le verser dans une fiole conique (erlenmeyer) ;
- Puis on ajoute 5 gouttes de phénolphtaléine ;
- Ensuite un titrage à l'aide de la micro burette avec la solution d'hydroxyde de sodium 0,05N, jusqu'au virage au rose pâle persistant quelque secondes.

➤ **Essai à blanc :**

Nous avons titré l'acidité apportée par l'alcool, en prélevant 20ml d'alcool plus 5 gouttes de phénolphtaléine, et on titre par NaOH jusqu'au virage du blanc au rose pâle.

Expression des résultats :

Acidité exprimée en grammes d'acide sulfurique pour 100 g de matière telle quelle est donnée par la formule suivante :

$$\frac{7.35 \times (V_1 - V_2) \times T}{m}$$

Acidité exprimée en grammes d'acide sulfurique pour 100 g de matière sèche est indiquée par la formule suivante :

$$\frac{7.35 \times (V_1 - V_2) \times T}{m} \times \frac{100}{100 - H}$$

Où :

V₁ : le volume en ml de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour la détermination.

V₂ : le volume en ml de la solution de l'hydroxyde de sodium utilisée pour l'essai à blanc.

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

H : la teneur en eau, en pourcentage en masse de l'échantillon pour essai.

4.1.4. Dosage de la cellulose brute (Norme NF V-03-040, 1977) :

Principe :

L'échantillon est soumis à deux hydrolyses (30 mn chacune) en milieu acide et alcalin. Après neutralisation, le résidu insoluble est lavé ; séché à poids constant à 150°C. Le produit obtenu est incinéré dans un four à 600°C et pesé. La différence entre les deux pesées représente la matière cellulosique.

Mode opératoire :

- Peser 1g d'échantillon, l'introduire dans un ballon de 500ml muni d'un réfrigérant rodé sur le goulot ;
- Ajouter 100ml d'une solution aqueuse bouillante contenant 12.5g d'acide sulfurique pour 1L (6.8 ml d'H₂SO₄ à compléter jusqu'à 1L d'eau distillée).chauffer pour obtenir une ébullition rapide et maintenir celle-ci pendant 30mnexactement. Agiter régulièrement le ballon pendant l'hydrolyse, séparer le ballon du réfrigérant ;
- Transvaser dans un ou plusieurs tubes de centrifugeuse en conservant la plus grande quantité possible de produit dans le ballon. Centrifuger jusqu'à clarification totale du liquide ;
- Introduire le résidu dans le même ballon en le détachant du tube à centrifugé avec 100ml de solution bouillante contenant 12.5g de soude pour 1L. faire bouillir durant 30mn exactement ;
- filtrer sur creuset (de porosité 1 ou2) passer le creuset plus le résidu à l'étuve réglée à 105°C pendant 24heurs ;
- après refroidissement au dessiccateur, peser puis incinérer dans le four à moufle à 400°C durant 4heurs. Refroidir au dessiccateur et peser à nouveau.

Expression des résultats :

La différence de poids entre les deux pesées représente les matières cellulosiques, une grande partie de cellulose varie, une partie de la lignine et des résidus d'hémicellulose.

$$\text{Teneur en CB en \% MS} = \frac{(A-B) \times 100}{C \times \text{MS}}$$

Où :

A : poids du creuset + résidu après dessiccation

B : poids du creuset + résidu après incinération.

C : poids de l'échantillon de départ.

4.1.5. Dosage des protéines par la méthode de KJELDAHL (Norme ISO 8968-1/2001) :

Les teneurs en azote total des sous produits étudiés sont déterminées selon la méthode de KJELDAHL et au niveau du laboratoire de zootechnie département d'agronomie-Blida.

La teneur en protéines se calcule à partir de la teneur en azote total multiplié par le coefficient 5,7 pour le son de blé et 6,25 pour le son des autres céréales (KHALON *et* CHOW, 2000).

Principe :

1- Minéralisation :

On minéralise les matières organiques contenues dans la prise d'essai par action de l'acide sulfurique concentré et à chaud. L'azote libéré à l'état d'ammoniaque (NH₃), en présence d'excès de H₂SO₄ se retrouve à l'état de sulfate d'ammonium (NH₄)₂SO₄.

La minéralisation est généralement lente, on l'accélère avec des catalyseurs :

K₂SO₄ (10g), Cu SO₄ (10g) et sélénium (1g)

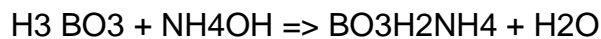
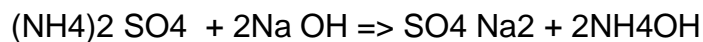
La transformation chimique est la suivante :



2- Distillation :

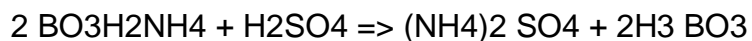
Un excès de NaOH neutralise l'acide sulfurique et libère l'ammoniaque entraîné par distillation qui sera recueilli dans une solution d'acide borique (dont le pH est déterminé).

Les transformations chimiques sont :



3- Titrage :

La solution obtenue est titrée directement par une solution d'acide sulfurique à 0,02N jusqu'au retour au pH initial de la solution de l'acide borique. La réaction est la suivante :



1ml de H_2NH_4 0.02N \Rightarrow 0.28 mg d'azote

Mode opératoire :

- La première étape : pesée des échantillons :

Dans cette étape on a travaillé directement sur les trois types de son (orge, seigle et blé tendre)

- A l'aide d'une balance de précision de 0.001, on pèse deux échantillons de 1g

- les échantillons sont versés avec précaution dans des matras de Kjeldahl.

- La deuxième étape : minéralisation :

Dans chaque matras de KJELDAHL, on rajoute :

- 20 ml d'acide sulfurique concentré.
- 2 g de catalyseur composé de K₂SO₄(250g), CuSO₄(250g) et sélénium (5g).
- Agiter et placer les matras dans le dispositif de minéralisation (type GERHARDT).
- Chauffer doucement et progressivement jusqu'à l'obtention d'une couleur limpide et verdâtre (en cas de mousse, on additionne l'huile de vaseline ou paraffine).

En fin de minéralisation, laisser les matras refroidir.

- La troisième étape : distillation :

- Filtrer le minéralisât dans une fiole de 100 ml (sans oublier de laver le matras), ajuster à 100 ml. Prélever dans un matras de kjeldahl, 50 ml du minéralisât + 50 ml de la soude (d=1,33) (330 g de soude dans 1l d'eau distillée).
- Placer le matras dans le dispositif de distillation (appareil de type Vapodest 40).
- Dans un bêcher destiné à recueillir le distilat, on introduit 20 ml de l'indicateur (20 g d'acide borique, 200 ml d'éthanol absolu et 10 ml d'indicateur contenant (2,5 ml de rouge de méthyle à 0,2 % et vert de bromocrésol à 0,1 %).

- la quatrième étape : titrage :

- Titrer le distillat avec une solution d'acide sulfurique N/20 (50 ml d'acide sulfurique 1N + 950 ml d'eau distillée) jusqu'à l'obtention à nouveau de la couleur initiale de l'indicateur.

Expression des résultats

1ml d'H₂SO₄ (1N) => 0,014g d'N

1ml d'H₂SO₄ (N/20) => 0,0007g d'N

$$Ng = X \cdot 0.0007 \times \frac{100}{Y} \times \frac{200}{A}$$

D'où:

Ng: Azote total.

X: descente de la burette (ml).

Y : poids de l'échantillon de départ.

A : volume de la prise d'essai

La quantité de protéines Q_p dans la prise d'essai est exprimée par :

$$Q_p = Ng \times 6,25$$

6,25 : facteur de conversion des protéines d'origine animale.

4.1.6. Dosage de la matière grasse (NF EN ISO 734-1, 2000) :

Les corps gras sont les substances organiques qui peuvent être extraites à partir des fruits et végétaux par des solvants organiques non polaires au moyen de l'appareil SOXCLET.

Principe :

Le principe consiste à extraire les lipides libres par un solvant organique apolaire tel que l'hexane à la température du laboratoire pendant une durée de 3 heures dans un SOXCLET.

L'épuisement de l'échantillon est terminé au bout de 3 heures et le solvant contenu dans le ballon préalablement taré est distillé à l'aide d'un évaporateur rotatif sous vide. La différence du poids constitue la matière grasse.

Mode opératoire :

- Sécher le ballon de 500 ml à l'étuve à 105 °C pendant une heure ;
- Refroidir le ballon au dessiccateur pendant 30 mn ;
- Peser le ballon à la précision de 0.001g ;
- Introduire 5g d'échantillon dans la cartouche de papier filtre
- Placer la cartouche avec la prise d'essai à l'intérieur de l'appareil SOXHLET ;
- Verser 200 ml de l'éther de pétrole dans le ballon et 50 ml dans l'extracteur ;

- Chauffer le ballon sur le chauffe ballon pendant 6 heures (20 siphonages par heure) jusqu'à l'épuisement de la matière grasse ;
- Après, éliminer le solvant du ballon par distillation ;
- Sécher le résidu du ballon dans une étuve à 105°C pendant 24h ;
- Refroidir le ballon au dessiccateur pendant 30 mn ;
- Peser le ballon avec l'huile à la précision de 0.001g ;
- Répéter l'opération de séchage jusqu'à l'obtention d'un poids constant du ballon.

Expression

La teneur en
calculée selon la



des résultats :

matière grasse est
formule suivante :

Soit :

P_2 : Poids du ballon vide (g).

P_1 : Poids du ballon avec l'huile extraite (g).

P_3 : Poids de la prise d'essai (g).

4.1.7. Fractionnement et dosage des polyosides pariétaux (d'après VAN SOEST, 1963) :

Le principe consiste à fragmenter les différents constituants de la paroi végétale grâce à des détergents appropriés.

Préparation des détergents :

- Neutral détergent fiber (NDF) : (pour deux litres)
 - 60 g de sodium lauryl sulfate.
 - 37,2 g de dissodium borate decahydrate.
 - 9,12 g de sodium hydrogène phosphate.

- Acid détergent fiber (ADF) : (pour deux litre)
 - 40 g de Cethyl triméthyl amonium bromide.
 - 55,54 ml d'acide sulfurique.

Mode opératoire :

1g d'échantillon est mis dans 100 ml de NDF, le mélange est porté à l'hydrolyse pendant une heure. Après filtration et lavage du produit obtenu, ce dernier est porté à l'étuve réglé à 105°C pendant 24 heures et ceci dans des creusets filtrants pesés au préalable (P_0). Ensuite, gratter le creuset et mettre le produit dans le ballon, verser 100 ml de ADF. Une fois filtré, nous procédons au lavage de l'échantillon avec de l'eau chaude, puis l'étuver à 105°C pendant 24 heures. Peser ensuite le creuset P_2 (cellulose, lignine et matière minérale). Après attaque du produit pendant trois heures avec H_2SO_4 à 72%, le produit est lavé avec de l'eau distillée (et étuvée à 105°C pendant 24 heures). Le résidu pesé P_3 lignine et matières minérales est incinérée pendant 3 heures à 550°C pour déterminer les cendres insolubles obtenues P_4 .

Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés par rapport à la matière sèche et sont calculés à partir des formules suivantes :

$$NDF = (P_1 - P_0) / E * 100$$

$$\text{ADF} = (P2 - P0) / E * 100$$

$$\text{Hémicellulose} = \text{NDF} - \text{ADF}$$

$$\text{Cellulose} = (P2 - P3) / E * 100$$

$$\text{Lignine} = (P3 - P4) / E * 100$$

$$\text{Cendres} = (P4 - P0) / E * 100$$

Avec :

E = prise d'essai.

P0 = poids en g de creuse vide.

P1 = P0 + E.

P2 = poids en g de creuset après lavage à l'eau chaude (cellulose, lignine et matières minérales).

P3 = poids en g de creuset après l'attaque acide (lignine et matières minérales)

P4 = poids en g de P3 après incinération.

4.1.8. Dosage enzymatique des fibres alimentaires :

Principe :

Le dosage a été effectué d'après la méthode THEANDERR et WESTERLUND (1986) et SHINNICK et al (1999).

Le principe consiste à un dosage des fibres alimentaires par gravimétrie. Cette méthode procède par l'alimentation des substances « non fibre » (protéines, amidon, lipides.) par voie chimique et enzymatique suivie de la pesé du résidu.

Préparation des échantillons :

Le broyage des échantillons est essentiel pour une attaque enzymatique efficace et rapide. Ensuite on effectue deux extractions successives par l'éthanol à 80% (éliminer les sucres libres) suivie par étapes de centrifugation et filtration.

L'étape de délipidation est recommandée, mais devient nécessaire pour broyer correctement les échantillons à forte teneur en lipides. D'après ASP et al (1983), une délipidation simple par l'éther et de pétrole, est souhaitable lorsque la teneur en lipides des substrats est supérieure à 6%.

Puisque la teneur en lipides de nos échantillons est inférieure à 5% nous avons éliminé cette étape.

Digestion enzymatique :

L'objectif de la digestion enzymatique est d'obtenir un résidu dépourvu de constituants non pariétaux.

Peser 5g de l'échantillon déjà préparé. Procédé à une gélatinisation de l'amidon pendant 45 min à 100°C par l' α amylase thermostable (termamyl) en présence d'un tampon acétate de sodium à 0,1 M et du carbonate de calcium (70 ppm). Cette étape permet un désamidonage des échantillons presque totale.

Refroidissement et incubation en présence d'amyloglucosidase (toute la nuit à 50°C) pour dégrader les maltodextrines en glucose, ceci permet d'estimer la teneur en amidon et éviter toute contamination de la fraction « fibre » soluble.

La protéolyse par une enzyme purifiée (protéase) ne permet pas une digestion totale des protéines. Une correction se fait après dosage de l'azote par la méthode de kjeldhal (facteur de croissance 6,25) pour déduire la teneur en protéines indigestibles des fractions fibres et insolubles.

Récupération de la fraction fibres alimentaires solubles et insolubles :

La fraction soluble :

Après incubation à l'amyloglucosidase à 50°C, on procède aux étapes suivantes :

- 1- Refroidissement des échantillons à la température.
- 2- Centrifugation à 2500xg pendant 15min et filtration sous vide sur Whatman n°54 (filtrat 1).
- 3- Lavage du résidu avec 70ml d'eau distillée et sonication pendant 5min

- 4- Centrifugation à 2500xg pendant 15min et filtration sous vide sur Whatman n°54 (filtrat 2).
- 5- Grouper les filtrats 1 et 2 et dialyser contre 4 litres d'eau distillée pendant 48h (changer l'eau chaque 12h).
- 6- Lyophilisation et pesage du lyophilisat (fraction soluble des fibres).

La fraction insoluble

On lave le résidu de filtration (1et2) deux fois avec l'éthanol à 100% (50ml) et une fois avec l'acétone. Chaque lavage est suivi d'une centrifugation à 2500xg pendant 10 min et filtration suivi d'un séchage du résidu à 50°C durant toute la nuit. Enfin un refroidissement et un pesage du résidu s'avèrent nécessaire (Fraction insoluble des fibres).

Expression des résultats

Après correction des résultats par les protéines et l'amidon résiduel les teneurs en fibres solubles et insolubles sont exprimées en % de matière sèche d'après la formule suivante :

$$T \text{ en \% de MS} = \left[\frac{E}{P} \times 100 \right] - \text{protéines} - \text{amidon} - \text{blanc}$$

Avec :

T= teneur en fibres solubles et insolubles

P= le poids du résidu de fibres solubles et insolubles après extraction.

E= la prise d'essai.

B=blanc.

Dosage des fibres totales (THEANDER et WESTERLAND, 1986) :

Principe

Cette méthode est basée sur le même principe du dosage des fibres solubles et insolubles.

Mode opératoire

Les échantillons sont préparés comme précédemment à la digestion enzymatique qui se fera comme suit :

Peser 1g d'échantillon, incubation par l' α amylase thermostable (termamyl) en présence d'un tampon acétate de sodium à 0,1M (20 ml) pH=5, pendant 30 min avec agitation.

Refroidissement et incubation en présence d'amyloglucosidase (toute la nuit à 50°C). Après incubation l'amyloglucosidase on procède aux étapes suivantes :

- 1- Précipitation des polymères hydrosolubles par addition de l'éthanol absolu (80ml) avec agitation.
- 2- Refroidissement avec l'eau du robinet et conservation à 4°C pendant une demi-heure, puis centrifugation.
- 3- Lavage du résidu (deux fois) avec 80ml de l'éthanol à 80%, suivi d'un lavage avec l'acétone.
- 4- Séchage du résidu à l'air chaud et pesage (fibres totales).

L'expression des résultats se fait avec la même formule précédente des fibres solubles et insolubles avec P égale au poids du résidu de fibres totales.

4.1.9. Dosage de l'amidon :

Méthode polarimétrique : 3^e directive avec rectificatif (JOCE du 27 novembre 1980).

Objet et domaine :

La méthode permet de déterminer la teneur en amidon et en produit de dégradation à haut poids moléculaire de l'amidon des aliments des animaux, à l'exception de ceux qui contiennent des cossettes, des pulpes, des feuilles ou des collets séchés de betteraves, des pulpes de pommes de terre, des levures

déshydratées, des produits riches en inuline (par exemple, cossettes et farine de topinambours) ou des cretons.

Principe :

La méthode comprend une double détermination. Dans la première, l'échantillon est traité à chaud par l'acide chlorhydrique dilué. Après défécation et filtration, on mesure par polarimétrie le pouvoir rotatoire de la solution.

Dans la seconde, l'échantillon est extrait par l'éthanol à 40%. Après acidification du filtrat par l'acide chlorhydrique, défécation et filtration, on mesure le pouvoir rotatoire dans les mêmes conditions que lors de la première détermination.

La différence entre les deux multipliées par un facteur connu donne la teneur en amidon de l'échantillon.

4.1.10. Dosage de l'acide phytique (d'après LOPEZ et MONENO, 1967) :

Principe :

Le principe est basé sur la précipitation des phytates par une solution de chlorure ferrique en présence de salicylate de sodium comme indicateur coloré.

Cette technique dose le phosphore phytique, le résultat est converti en pourcentage d'acide phytique.

Mode opératoire :

Prendre 10 g d'échantillon nécessitant 100 ml d'HCl à 0.5 N, le mélange subit une agitation pendant 1h30, suivie d'une centrifugation pendant 20 mn à 5000 trs/mn. 20 ml du surnageant sont récupérés et additionnés à 30 ml d'eau distillée avant d'être portés à 80°C au bain marie pendant 5 mn. Le titrage est réalisé avec une solution de FeCl₃ à 0.05% dans 0.6% d'HCl en présence de salicylate de sodium comme indicateur coloré. La quantité de phosphore phytique est calculée d'après l'expression suivante :

$$X = (V \cdot 3,4443 \cdot 1,11 \cdot 50) \times 100 / (100 - W)$$

D'où :

X : quantité du phosphore phytique exprimée en mg/100g de MS.

V : volume de la solution FeCl_3 en ml (dans 1 mg de cette solution il y a 1 mg de FeCl_3 , ce qui correspond à 0.3443 mg de fer).

W : teneur en eau du produit en pourcentage.

50 : coefficient de conversion pour exprimer la quantité de phosphore phytique par rapport à 100 g de produit.

En effet, dans nos conditions expérimentales, le titrage est effectué sur 2 g de produit. Cette méthode admet pour les produits céréaliers que 1 mg de fer correspond à 1,1 mg de phosphore phytique. Pour trouver la teneur en phytates exprimée en % d'acide phytique, on multiplie par 3,5515, ce coefficient représente la masse moléculaire de l'acide phytique par rapport à la masse de phosphore dans l'acide phytique.

4.1.11. Détermination de l'absorption et de la rétention d'eau :

Le principe est fondé sur la détermination de la quantité d'eau absorbée et retenue par les différentes fractions obtenues des céréales étudiées (orge, avoine b et seigle).

Mode opératoire :

- Une prise d'essai de 10 g à analyser est mise dans 100 ml d'eau distillée ;
- Incubation à l'étuve pendant 24 heures à 37 °C ;
- Egouttage pendant 15 mn ;
- Mesure du volume d'eau non absorbée ;
- Déduction de la différence entre l'eau absorbée et l'eau restante ;
- Application d'une force de 2 Kg sur l'échantillon déjà égoutté pendant 15 mn ;
- Mesure du volume d'eau récupéré après application de la force.

Expression des résultats:

$$X = \frac{V - V'}{E} \times 100$$

L'absorption du son est calculée par la formule suivante :

Avec :

V : volume en ml d'eau initiale.

V' : volume en ml d'eau récupérée après égouttage

X : le pourcentage d'eau absorbée

E : prise d'essai en g

4.2. Analyses microbiologiques :

En vue d'analyses microbiologiques, le matériel doit être parfaitement propre, stérile et sec au moment de son utilisation. Le prélèvement doit se faire de manière aseptique et le récipient pour échantillon doit être fermé immédiatement après échantillonnage.

La recherche microbiologique est selon les prescriptions du JORA N° 35 du 27-05-1998 (Voir Annexe 04).

4.2.1. Préparation des dilutions :

La préparation des échantillons en vue d'une analyse microbiologique nécessite au préalable une prise d'essai dans des conditions aseptiques.

4.2.1.1. Prise d'essai :

- Les différents types de sons (son de blé d'orge et de seigle) étant des produits solides, feront l'objet de dilutions décimales, mais au préalable il est nécessaire de procéder à leurs homogénéisations.

4.2.1.2. Cas des produits solides :

- Introduire 25 g du produit dans un flacon stérile contenant au préalable 225 ml de diluant (l'eau physiologique ou TSE) cela constitue la dilution mère 10-1.
- A partir de cette dilution prélever 1 ml et le mettre dans un tube stérile contenant 9ml de même diluant c'est la dilution 10-2.
- Répéter la même opération jusqu'à l'obtention de la dilution désirée.

La préparation des dilutions décimales dans le cas des produits solides est montrée au niveau de la Figure 8.

4.2.1.3. Cas des produits liquides :

- Le produit lui-même est la solution mère, on prélève 1 ml de cette solution et on l'introduit dans un tube stérile contenant au préalable 9 ml de diluant, cela constitue la première dilution soit la dilution 10-1.
- A partir de la dilution 10-1 , prélever 1 ml et l'introduire dans un tube stérile contenant au préalable 9 ml de diluant, c'est la dilution 10-2 .
- Répéter la même opération jusqu'à l'obtention de la dilution désirée.

La préparation des dilutions décimales dans le cas des produits liquides est montrée au niveau de la Figure 9.

4.2.2. Recherche et dénombrement des levures et moisissures :

Ces champignons qui comprennent les levures et moisissures sont capables de se développer en milieu acide et au froid (Bourgeois et Leveau, 1980).

Leur croissance est moins rapide que celle des bactéries, mais très peu exigeante en éléments nutritifs (AFNOR, 1998). Ils provoquent des défauts de fabrication qui se traduisent par des altérations nutritionnelles et organoleptiques des produits (Bourgeois et Leveau, 1980).

Principe :

Le milieu utilisé doit inhiber la croissance de toutes les bactéries, il doit renfermer donc une substance inhibitrice de leur développement (antibiotique) la substance choisie est donc l'oxytétracycline pour OGA et le chloramphénicol pour Sabouraud (SBA) (Guiraud, 1998).

Technique :

A partir des dilutions décimales (10^{-1} ; 10^{-2} ; 10^{-3}), ensemercer aseptiquement 0,1 ml dans une boîte de Pétri stérile contenant de la gélose Sabouraud. Etaler cette suspension à l'aide d'un râteau stérile (Voir figure 22).

Incubation :

Incuber les boîtes de Pétri à 25° C pendant 3 à 5 jours.

Lecture :

Les colonies de levures ressemblent à celles des bactéries mais plus grandes, elles sont brillantes, rondes, bombées et de couleurs différentes, alors que celles des moisissures, ont un aspect velouté, de couleur blanche ou pigmentée de tailles plus grandes que les précédentes.

Expression des résultats :

- Etant donné, qu'on a pris 4 gouttes des dilutions décimales, sachant que pour 1ml il faut 20 gouttes, d'où il faut multiplier le nombre trouvé par 5.
- Par ailleurs, étant donné qu'on a travaillé avec des dilutions décimales, on doit multiplier le nombre trouvé par l'inverse de la dilution correspondante.
- Faire ensuite la moyenne arithmétique puis exprimer le résultat final en millilitre ou en gramme de produit à analyser.

4.2.3. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito- réducteurs :

Ces bactéries appartiennent à la famille des *Bacillaceae*, ce sont des bacilles Gram positifs sporulées, et anaérobies strictes. Elles réduisent le nitrate en nitrite et fermentent le lactose avec production de gaz. Elles peuvent contaminer les produits alimentaires dans des conditions d'anaérobiose ainsi que les conserves où peuvent facilement proliférer grâce à leurs spores, ce sont les seuls êtres vivants après pasteurisation. (Bourgeois et Leveau, 1980)

But :

L'intérêt de la recherche de ces germes en bactériologie alimentaire repose d'une part, sur leur capacité à produire les toxines, d'autre part sur leur capacité à sporuler donc à survivre aux processus de conservation des aliments. La recherche vise à confirmer la présence des spores, après destruction des formes végétatives par chauffage des dilutions dans un bain Marie à 80° C pendant 10 mn.

Deux espèces sont responsables de toxi-infections alimentaires :

- ✓ *Clostridium perfringens*, toxinogène et pathogène, responsable de septicémie chez l'Homme et les animaux ;
- ✓ *Clostridium botulinum*, responsable du botulisme chez l'Homme.

Principe :

Le milieu utilisé est la gélose viande-foie (VF), additionnée de sulfite de sodium et d'Alun de fer, l'action des germes sulfito-réducteurs conduit à la réduction du sulfite de sodium en présence d'Alun de fer en sulfure, donnant la couleur noire aux colonies (BOURGEOIS et LEVEAU, 1980).

Mode opératoire :

Introduire 1 ml de chaque dilution en double dans deux tubes vides et stériles. Ces deux tubes sont portés au bain-Marie 80° C pendant 10 minutes, afin d'éliminer la forme végétative et de ne laisser que la forme sporulante (choc thermique). Les tubes sont aussitôt refroidis immédiatement sous l'eau de robinet avant de faire couler aseptiquement la gélose viande-foie fondue et refroidie à 45° C additionnée de sulfite de sodium et d'Alun de fer. Les tubes sont à nouveau refroidis à l'air ambiant (Figure 23).

Incubation :

Incuber les tubes à 37° C pendant 72 heures.

Lecture :

Les colonies apparaissent entourées d'un halo noir caractéristique. Chaque colonie noire est issue de germination d'une spore.

Expression des résultats :

Il est donc impératif de repérer toutes colonies suspectes et de prendre le centre de la colonie, car très souvent il y a le développement des bacilles à côté, qu'on prendrait à tort pour des colonies d'anaérobies sulfite-réducteur

4.3. Analyse toxicologique :

4.3.1. Dosage des aflatoxines (Norme AFNOR NF V08-200, 1980)

La présence des aflatoxines est déterminée comme suit :

Principe

Le dosage des aflatoxines est basé sur leur :

- Extraction à l'aide de solvants appropriés;
- Une délipidation par le chloroforme;
- Une purification par chromatographie couche mince (CCM).

Mode opératoire

- L'extraction :

Elle se réalise à l'aide de mélange de solvants variés, dont l'efficacité semble liée à la nature du produit alimentaire. Pour les céréales, l'acétone aurait une efficacité supérieure à celle de l'acétonitrile.

- Introduire 5.6g de son des trois types de céréales étudiés (blé, orge et seigle) dans 100ml de méthanol et agiter pendant 4min ;
- Ajouter 40 ml d'eau distillée stérile, agiter pendant 4min puis laisser reposer pendant 10 min puis filtrer ;
- Agiter les 20ml de filtrat avec 20ml de NaCl (10%) et 20ml d'éther de pétrole pendant 2min et laisser la séparation s'effectuer durant 10 min (la matrice est extraite dans l'éther de pétrole) ;
- jeter la phase supérieure (éther de pétrole) sous une hotte aspirante, agiter la phase aqueuse (inférieure) avec 50ml de dichlorométhane pendant 10min et laisser l'élution se réaliser les aflatoxines sont extraites dans la phase inférieure contenant le dichlorométhane ;
- Sécher cette phase avec 5g de sulfate de sodium, filtrer et laisser évaporer ;
- Dissoudre le résidu dans 1ml de toluène-acétonitrile (v/v98:2) ou de méthanol qualité CHPL ;
- Dosage des aflatoxines par HPLC après dérivation à la « KOBRA Cell ».
 - Une chromatographie sur plaque ou sur couche mince (CCM), est effectuée, le support qui donne les meilleurs résultats de séparation des différents

métabolites, sur la plaque chromatographique, un trait horizontal à 1 cm environ du bord inférieur et tracé au crayon de papier, des aliquotes de l'ordre de 15 à 25µm de chaque extrait prélevées à l'aide de tubes capillaires, sont déposées à 0.5 cm d'intervalle, ponctuellement et soigneusement sur le trait en appuyant légèrement l'extrémité sur la couche d'absorbant placée sur une plaque chauffée à 60°C. un volume de 15µm d'une solution standard composée d'un mélange d'aflatoxines AFB1, AFB2, AFG1, AFG2 appliqué en même temps que les extraits à analyser, plaçant la plaque en position verticale dans la cuve saturée de solvant d'élution.

- Dès que le niveau de solvant atteint le front, la plaque est retirée de la cuve puis séchée, les tâches d'aflatoxines sont révélées en plaçant la plaque sous lumière UV à 365nm lorsque les composants de l'échantillon analysé sont coloré, leur séparation est facilement observable sur la plaque : les aflatoxines B et G apparaissent sous forme de tâches bleues et vertes respectivement l'identification se fait par comparaison des extraits avec les témoins.
- Enfin on termine par une confirmation par la chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC).

CHAPITRE II

Chapitre II :

Résultats et discussion

1. Analyses des grains : (Nombre de répétition voir annexes)

Le taux des impuretés influe sur le rendement des grains de céréale examinés et l'aspect du produit fini. Certaines impuretés sont toxiques pour le consommateur (Nielles, Ergots) et d'autres, peuvent endommager les équipements de mouture (débris métalliques, pierres,...). La présence des grains cassés diminue le rendement quantitatif de la farine, ainsi que la présence de grains mouchetés et colorés influe sur la qualité du produit fini (apparition des piqûres noires). Les résultats d'analyse sont regroupés dans les tableaux 14, 15 et 16.

o Grains de blé tendre :

1.1.1. Recherche des impuretés :

D'après le tableau 14, nous avons noté un faible taux en grains cassés, germés et maigres, comme nous avons observé qu'il y a une absence totale des grains avariés et mouchetés, ce qui montre que notre échantillon de blé tendre est de bonne qualité (grains sains, royal et marchande).

1.1.2. Poids spécifique (PS) :

Comparé à la norme algérienne (JORA 1998), le poids spécifique de l'échantillon de blé tendre est élevé (79,41 Kg/Hl), ce qui donne un rendement quantitatif et un taux d'extraction très appréciable en meunerie (Tableau 14).

Tableau 14 : Taux des impuretés, humidité et poids spécifique de blé tendre.

Taux d'impuretés					
	1er essai (g)	2ème essai (g)	Moyenne (g)	Norme (JORA 1998)	
Recherche des impuretés (%)	Prise d'essai	100	100	100	-
	Grains propres	88,96	88,87	88,915	≥ 80
	Grains cassés	1,84	1,82	1,83	≤ 6
	Grains germés	0,08	0,09	0,085	≤ 2
	Grains maigres	0,48	0,52	0,5	-
	Grains échaudés	1,52	1,53	1,525	-
	Grains boutés	6,56	6,58	6,57	-
	Autres grains	0,16	0,19	0,175	-
	Autres impuretés (pailles, pierres...)	0,4	0,4	0,4	≤ 3
	Masse totale des impuretés	11,04	11,13	11,085	-
Analyses physiques	Poids spécifique (Kg/Hl)	79,400	79,430	79,415	78 (Kg/Hl)
	Humidité	12	12,5	12,25	≤14%

1.2. Grains d'orge :

1.2.1. Recherche des impuretés :

Le tableau 15 montre un faible taux d'impuretés (grains maigres, mouchetés et piqués). Ainsi, nous avons remarqués qu'il y a une absence totale des grains avariés, germés et chauffés, ce qui révèle une bonne qualité de l'échantillon d'orge (grains sains, royal et marchande).

1.2.2. Poids spécifique (PS) :

D'après les résultats, on note un poids spécifique de 62.750 Kg/Hl, cette valeur correspond à celle enregistrée par GODON (1984) qui varie entre 62 et 76 Kg/Hl.

Tableau 15 : Taux des impuretés, humidité et poids spécifique de l'orge

		1er essai (g)	2ème essai (g)	Moyenne (g)	Norme JORA(1998)
Recherche des impuretés	Prise d'essai	100	100	100	-
	Grains propres	93,84	93,4	93,62	≥ 80
	Grains cassés	1,2	1,5	1,35	≤ 6
	Grains piqués	0,88	0,93	0,905	-
	Grains maigres	0,48	0,46	0,47	-
	Grains mouchetés	0,24	0,23	0,235	-
	Autres grains	0,16	0,18	0,17	-
	Autres impuretés (pailles, pierres...)	1,2	1,3	1,25	≤ 3
	Masse totale des impuretés	6,16	6,6	6,38	-
Analyse physique	Poids spécifique (Kg/Hl)	62,800	62,700	62,750	62-76Kg/Hl GODON
	Humidité	10,70	9	9,85	≤14%

1.3. Grains de seigle :

1.3.1. Recherche des impuretés :

Nous avons observé, d'après le tableau 16, un faible taux de grains cassés, chauffés et maigres, et absence totale des grains germés, piqués et mouchetés, ce

qui nous conduit à dire que l'échantillon de seigle est de bonne qualité (grains sains, royal et marchande).

1.3.2. Poids spécifique (PS) :

Le poids spécifique de seigle (76.062 Kg/Hl) est conforme à la norme citée par GODON et ses collaborateurs (1984) (62 - 76 Kg/Hl).

Tableau 16 : Taux des impuretés, humidité et poids spécifique de seigle

		1er essai (g)	2ème essai (g)	Moyenne (g)	Norme JORA(1998)
Recherche des impuretés	Prise d'essai	100	100	100	-
	Grains propres	90,32	90,29	90,30	≥ 80
	Grains cassés	0,08	0,07	0,075	≤ 6
	Grains boutés	0,32	0,35	0,335	-
	Grains maigres	0,08	0,08	0,08	-
	Grains chauffés	0,24	0,23	0,235	-
	Autres grains	7,96	7,98	7,97	-
	Masse totale des impuretés	8,68	8,71	8,695	-
Analyse physique	Poids spécifique (Kg/Hl)	76,060	76,065	76,062	62-76Kg/Hl GODON
	Humidité	10,4	11	10,7	≤14%

1.4. Humidité :

Le son des trois céréales présente une humidité de 12,25 %, 9,85 % et 10,7 % respectivement pour le blé, l'orge et le seigle. Ses valeurs sont conformes à la norme de GODON (1991) : < à 14%. Cela conduit à dire que ces échantillons ont subi une bonne conservation ainsi qu'une longue durée de stockage.

2. Analyses du son :

2.1. Analyses physico-chimiques :

Les résultats d'analyses physicochimiques du son de blé tendre, d'orge et de seigle sont mentionnés en annexe 3.

2.1.1. Humidité :

D'après FEILLET (2000), le dosage de l'humidité nous permet de statuer sur les risques d'altérations lors du conditionnement et du stockage des aliments. L'humidité est un facteur crucial dans l'évolution des phénomènes biologiques notamment la prolifération des micro-organismes et la croissance de ces derniers.

Les échantillons sur les quels nous avons travaillé présente une humidité de 13,43 % pour le son de blé et 13 % pour le son d'orge et 11,65 % pour le son de seigle (Figure 12). Ces valeurs sont conformes à la norme. Les grains sont donc secs, ce qui représente un avantage pour le rendement et pour le stockage.

En effet, un taux d'humidité élevé peut favoriser le développement des micro-organismes et provoque la détérioration de la qualité des céréales.

D'après KIGER (1967), l'humidité du son varie entre 12 % à 16 %, ceci implique que les échantillons présentent une humidité normale.

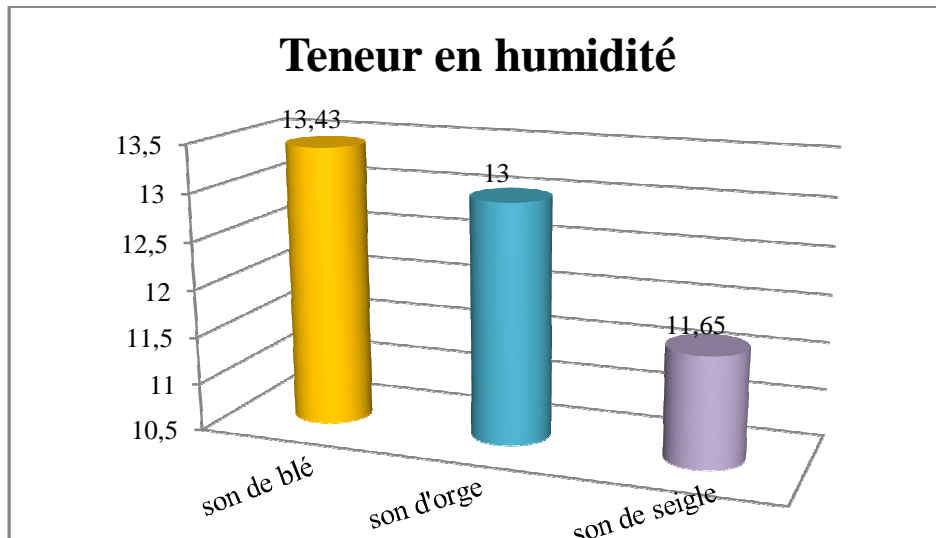


Figure 12 : Teneur en eau des sons de blé tendre d'orge et de seigle

Cependant, l'activité de l'eau risque de devenir importante au cours du stockage et peut provoquer :

- Une oxydation de la matière grasse ;
- Une dégradation des protéines et favoriser le développement microbien et par conséquent les aflatoxines dangereuses pour la santé humaine.

2.1.2. Taux de cendres :

Vu la relation étroite existante entre les minéraux et les fibres alimentaires en général, et celle des céréales en particulier, nous avons jugé important de déterminer la teneur en matières minérales du son des céréales étudiées.

Les résultats obtenus sont, en moyenne, de l'ordre de 4,14 %, 1,33 %, 2,06 %, respectivement pour le son de blé tendre, le son d'orge et le son de seigle. Les résultats sont illustrés dans la figure 13.

D'après ces résultats, on remarque que la teneur en matières minérales du son de blé est largement supérieure à celle des autres céréales, et inférieure à celle trouvée par SAUVANT *et al.* (2006), soit 5 %. Par contre, le son d'orge présente la teneur la plus faible en matières minérales à savoir 1,33 %, cette valeur est

largement inférieure à celle formulée par AOUIR (2003), qui est de l'ordre de 4 % mais elle est légèrement inférieure à celle trouvée par SOUCI *et al.* (1990) soit 2 %. Quant au son de seigle, la teneur est supérieure à celle trouvée par (BONNIER, 1990) soit 1,7 %.

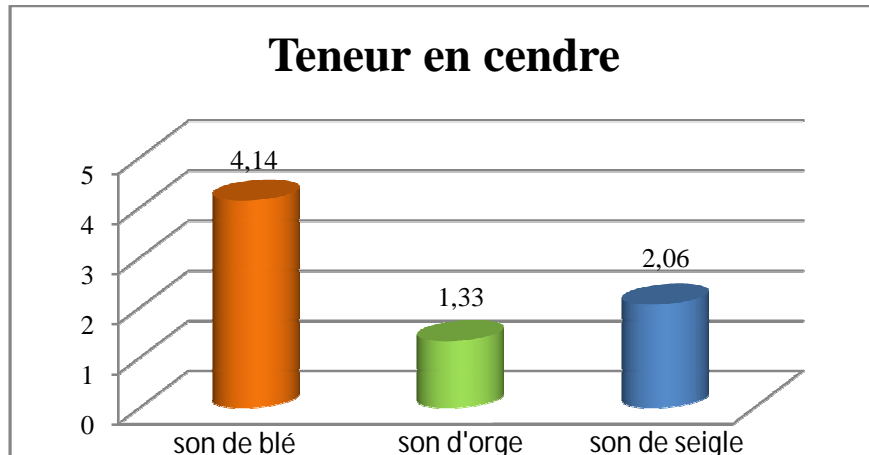


Figure 13 : Teneur en cendres des sons de blé tendre d'orge et de seigle.

Le taux de cendres varie avec les différentes parties du grain (CALVEL, 1975). Il est plus élevé dans le germe et dans l'enveloppe que dans l'amande. En effet, il est fonction du type de sol, des conditions de culture, des engrais utilisés et de la variété (MOUL, 1980).

2.1.3. Teneur en matière grasse :

Ce dosage a pour but de déterminer la proportion des lipides totaux que renferment les différents sons analysés. Par ailleurs, il nous donne des indications sur l'origine de la matière première, du taux d'extraction et surtout des conditions de conservation (AOUIR, 2003).

Il est possible qu'une teneur supérieure à 6 % pour les sons, avec un taux d'humidité moyen de 12 à 15% nuisent à leur bonne conservation (KOUIDRI, 1999).

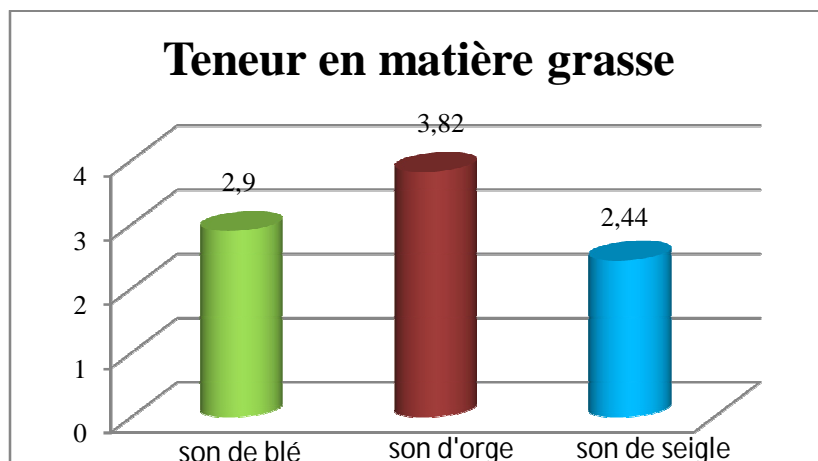


Figure 14 : teneur en matière grasse des sons de blé tendre d'orge et de seigle.

D'après les résultats (figure 14), la teneur en matière grasse du son de blé est de 2,90 %, légèrement faible par rapport à celle trouvée par SAUVANT *et al.* (2006) : environ 3 %, et pour le son d'orge, la teneur est de l'ordre de 3,82 %, supérieure à celle trouvée par AOUIR (2003) : 2,05 % et BENDJELJELIL (1999) : 2,1 %, ce qui explique son acidité élevée. D'un autre côté, la teneur en matière grasse que contient le son de seigle est de 2,44 % elle correspond à celle trouvée par (BONNIER, 1990) soit 2%.

Cependant, l'ensemble des teneurs trouvées reste conforme aux valeurs normalisées.

2.1.4. Teneur en protéines :

D'après LEPEN *et* ADRIAN (1982), lors de la consommation des farines entières et des sons de céréales, on observe une diminution de la digestibilité des matières azotées qui est due non pas seulement à l'abondance des glucides indigestibles, mais également à une interaction entre l'acide phytique et les protéines.

Dans le même sens, LOPEZ *et al* annoncent en 1998 que, l'acide phytique avec les fibres alimentaires sont responsables de la digestion lente des protéines. Pour cette raison nous avons jugé nécessaire de déterminer la teneur en protéines des sons de céréales étudiées.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans la figure 15. Ces derniers, montrent que le son de seigle est le plus riche en protéines (17,44 %), ensuite vient le son de blé tendre (16,38 %) et enfin celui de l'orge (12,71 %), en accord avec celles trouvés par SAUVANT *et al* (2006), par KHALON *et* CHOW (2000) et par DORTE RIECKOFF (1999).

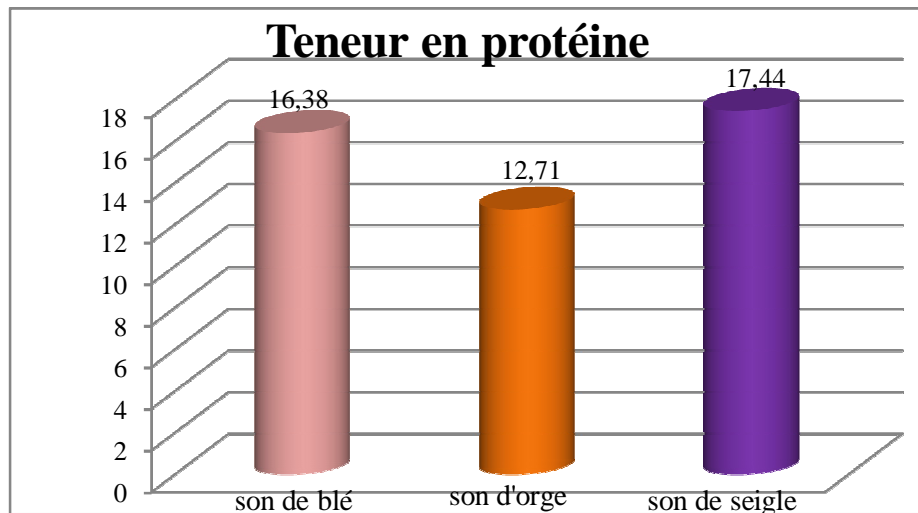


Figure 15 : Teneur en protéines des sons de blé tendre d'orge et de seigle.

2.1.5. Acidité grasse :

L'acidité grasse d'une céréale est l'acidité que génèrent ses acides gras libres. Elle est assimilée à l'acidité totale du produit. Ces acides gras résultent de l'hydrolyse des triglycérides par des lipases endogènes ou exogènes. Une valeur élevée, préjudiciable à une bonne qualité d'utilisation, résulte d'une mauvaise conservation des produits (FEILLET, 2000).

En conséquence, la détermination de l'acidité grasse des sons des trois types de céréales étudiées permet de donner des informations sur l'état de conservation, l'âge et le taux d'extraction de ceux-ci.

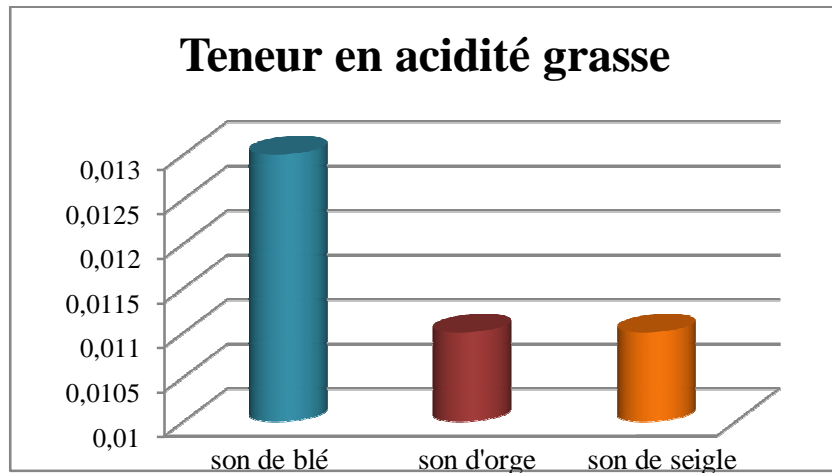


Figure 16 : Teneur en acidité grasse des sons de blé tendre d'orge et de seigle

D'après les résultats obtenus (Figure 16), on peut dire que l'acidité des échantillons est dans les normes car, on admet un taux maximal d'acidité de 0,050g d'acide sulfurique pour 100 g de MS. Un chiffre supérieur est un indice d'altération (CHASSERAY, 1991).

2.1.6. Teneur en amidon :

D'après FEILLET (2000), la détermination de la teneur en amidon du blé ou des produits de mouture repose sur le dosage du glucose libéré après hydrolyse enzymatique.

Le but de cette analyse est de déterminer la teneur en amidon des produits analysés. Ce dosage nous renseigne sur le mode de mouture et du taux d'extraction des céréales.

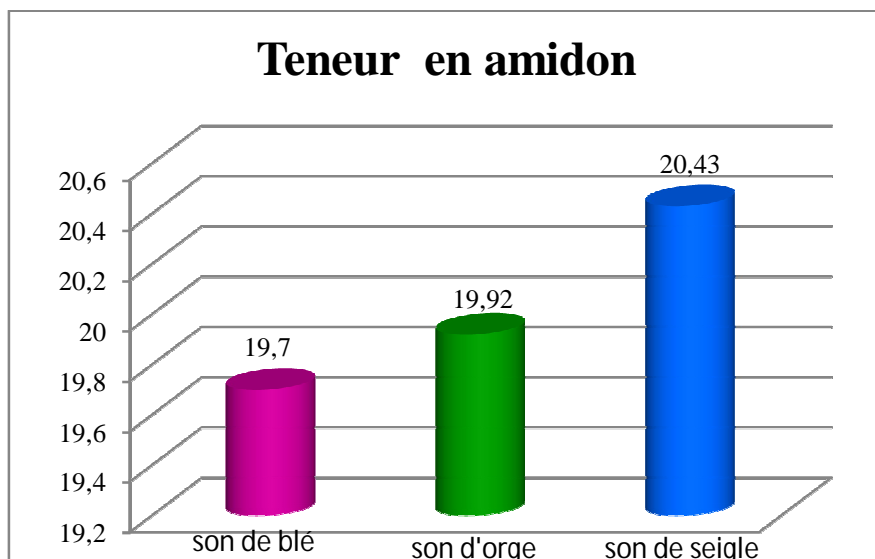


Figure 17 : Teneur en amidon des sons de blé tendre d'orge et de seigle.

Généralement, les sons des céréales sont les moins pourvus en amidon, comparés aux autres sous produits de meunerie remoulage et farine basse (AMRUTHMAHAL *et al*, 2003).

D'après CHAPLIN (2004), la teneur en amidon est de 18,4 % MS dans le son. Alors que le centre de contrôle de la qualité et de la recherche agronomique (CCQRA, 2009), tolère une teneur d'amidon pour les sons entre 21 et 22 %.

En se basant sur cette norme, et d'après les résultats obtenus portés dans la figure 17, il ressort que la teneur en amidon du son de blé, d'orge et de seigle analysés dans nos conditions expérimentales est respectivement de : 19,7 %, 19,92 %, 20,43 %, ce qui est acceptable et répond aux exigences normalisées.

2.1.7. Teneur en polyosides pariétaux :

2.1.7.1. Teneur en cellulose brute :

Ce constituant est déterminé par la méthode officielle de WEENDE. Elle permet de quantifier, outre la cellulose (Vraie), une fraction de lignine, d'hémicellulose et des traces d'azote (ROUAU *et* THIBAULT, 1987). La cellulose est concentrée dans la couche périphérique des céréales. Elle varie suivant les espaces considérées.

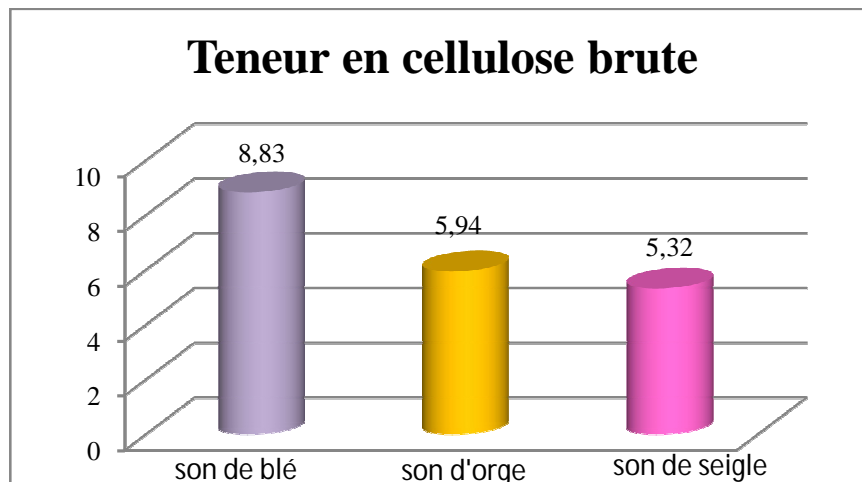


Figure 18 : teneur en cellulose brute des sons de blé tendre d'orge et de seigle

Les résultats de l'analyse faite sur le son des trois types de céréales étudiées (blé tendre, orge et seigle) sont mentionnés dans la figure 18.

Le son de blé tendre représente la teneur la plus élevée en cellulose brute 8,83 % par rapport aux autres céréales, cette valeur se rapproche à celle trouvée par (SAUVANT *et al*, 2006) : environ 9,2 %. Ensuite vient le son d'orge avec une teneur de 5,94 %. Cette valeur est inférieure à celle trouvée par AOUIR (2003) soit : 7,15 % mais elle corrobore avec celle trouvée par GODON *et* WILL (1991) soit : 6 %.

La cellulose brute est plus faible pour le son de seigle qui est de l'ordre de 5,32 %.

Les différences de valeurs en cellulose brute, pour la même espèce, peuvent être expliquées, selon HOSENEY1(1986) par :

- la différence du taux d'extraction : un taux d'extraction de 80 à 83 % entraînant un épuisement maximum des sons en amidon ; par conséquent, la teneur en cellulose est élevée;
- la variété et le stade de maturité de la plante (parois secondaires riche en cellulose par rapport aux parois primaires).

Selon REMSY *et al*. (1994), la fraction indigestible ou cellulose brute, que contiennent les céréales, joue un rôle prépondérant dans la réduction de certaines

pathologies digestives (constipation, diverticulose) et de certains troubles métaboliques (obésité, diabète).

2.1.7.2. Teneur en Hémicellulose, en cellulose et en lignine :

Tableau 17 : Teneur en hémicellulose, cellulose et lignine pour le son de blé, d'orge et de seigle.

Espèces	Cellulose (%)	Hémicellulose (%)	Lignine (%)
Blé tendre	11,7	21,8	3
Orge	7,9	26,25	2,05
Seigle	18	27,9	1,7

Le but de la méthode d'extraction de VAN SOEST, par des détergents anioniques et cationiques en milieu acide ou tamponné, est d'obtenir un résidu fibres (cellulose, hémicellulose et lignine) pauvre en azote.

La solution détergente neutre (NDF) permet d'obtenir un résidu cellulose, hémicellulose et lignine. La solution détergente acide (ADF) entraîne la solubilisation d'hémicellulose (ROUAU et THIBAUT, 1987). Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau 17.

Il ressort de cette dernière que l'hémicellulose prédomine sur les autres composés pariétaux (lignine et cellulose) avec une valeur de 21,80 % pour le son de blé, 26,25 % pour le son d'orge et 27,90 % pour le son de seigle. De plus, ces résultats sont concordants avec ceux d'autres auteurs (MARIN et ZEE, 1997) et (AOUIR, 2003).

La cellulose est un polymère composé de monomères de glucose liés par des liaisons $\beta(1-4)$ (William Johnson, 2002). Le tableau 17 montre des valeurs de 11,7 %, 7,66 % et 18 % respectivement pour le SB, SO et SS. Cette fraction fait partie des fibres insolubles et induit plusieurs modifications à caractère général (vidange gastrique et ramollissement des selles) dans le tube digestif.

La comparaison des résultats obtenus, corroborent dans l'ensemble à ceux rapportés par KOUIDRI (1999) et HACHIMI (2000).

En ce qui concerne la lignine, polymère hétérogène dont la structure moléculaire est très complexe, sa teneur est très faible par rapport aux autres constituants du son. Elle est de 3,00 %, 2,05 % et 1,7 % pour le SB, SO et SS respectivement.

D'après ROUAU (1987), les teneurs en lignine sont toujours faibles et n'interviennent que pour une faible part dans la valeur des fibres alimentaires totale.

Ces différences, comparées aux valeurs enregistrées par KOUIDRI (1999) et MARIN et ZEE (1997) sont fonction de plusieurs paramètres, entre autres des conditions expérimentales d'extraction et de dosage, de l'espèce céréalière, de la variété, et du stade de maturité de la plante (FEILLET, 1992).

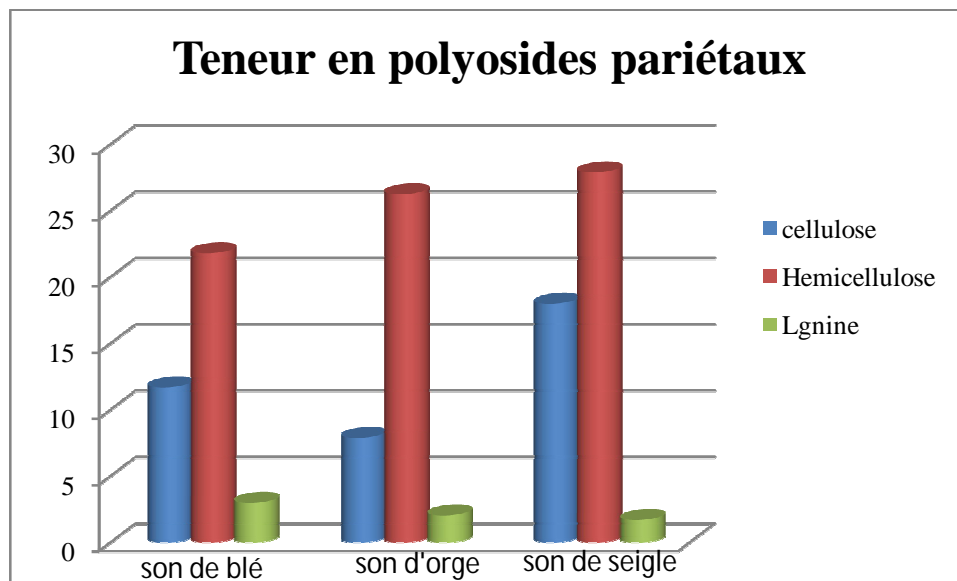


Figure 19 : Teneur en polysides pariétaux des sons de blé tendre d'orge et de seigle

2.1.8. Teneur en fibres alimentaire:

Tableau 18 : teneur en fibre alimentaire totale, soluble et insoluble pour le son de blé, d'orge et de seigle.

Espèces	Fibres totales (% MS)	Fibres solubles (% MS)	Fibres insolubles (% MS)
Blé tendre	51,75	4,6	47,02
Orge	30,8	12,9	17,9
Seigle	47,3	8,63	39

2.1.8.1. Teneur en fibres alimentaires totales :

Les analyses réalisées sur les trois céréales sont démontrés dans la figure 20, ces dernières révèlent une teneur en fibres totales du son de blé de 51,7 %, supérieure à celles de l'orge et de seigle 30,8 %, 47,3 % respectivement.

Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par FRENOT *et* VIERLING (2002), soit 50 %. KAHLON *et* CHOW (2000) montrent que la teneur en fibres totales pour le son de blé est de 52,2 %, ce qui correspond au résultat obtenu.

Par ailleurs, l'orge présente une valeur largement inférieure à celle trouvée par SCHWEIZER *et* WURSCH (1979). Ces derniers ont signalés que la teneur en fibres totales des enveloppes de grains d'orge est de l'ordre de 75,5 % MS.

Selon FEILLET (2000), on peut expliquer ces légères différences, par la richesse des enveloppes en matières cellulosiques ; de plus, les teneurs en fibres alimentaires peuvent varier fortement en fonction de leur origine végétale.

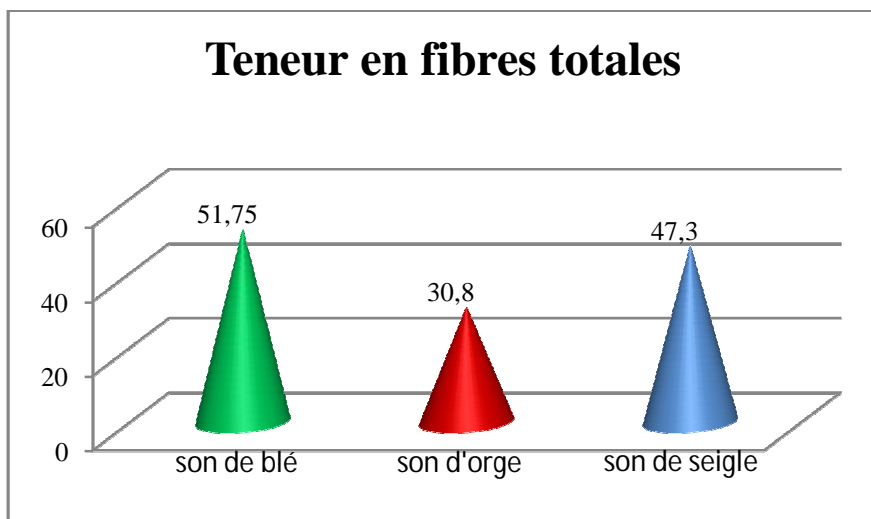


Figure 20 : Teneur en fibres totales des sons de blé tendre d'orge et de seigle.

2.1.8.2. Teneur en fibres alimentaires solubles :

Concernant les teneurs en fibres solubles, les résultats obtenus sont présentés dans la figure 21. Nous avons remarqué que la teneur en fibres solubles dans le son d'orge (12,9 %) est plus élevée comparés à celle de seigle (8,63 %) et de blé (4,6 %).

Pour le son de blé, KHLON *et* CHOW (2000) et RIECKOFF *et al.* (1999) ont trouvé 3,8 % et 3,4 % respectivement. Ces teneurs sont inférieures à celles obtenus dans notre étude.

D'après MANTHEY *et al.* (1999), dans les céréales, les fibres solubles dans l'eau sont composées de polysaccharides non amylacés tels les β -glucan et l'arabinoxylane. Elles ont pour rôle d'augmenter la viscosité et de réduire le transit intestinal, ce qui permet de retarder le retour de la faim et de réduire le taux de cholestérol et le niveau d'insuline.

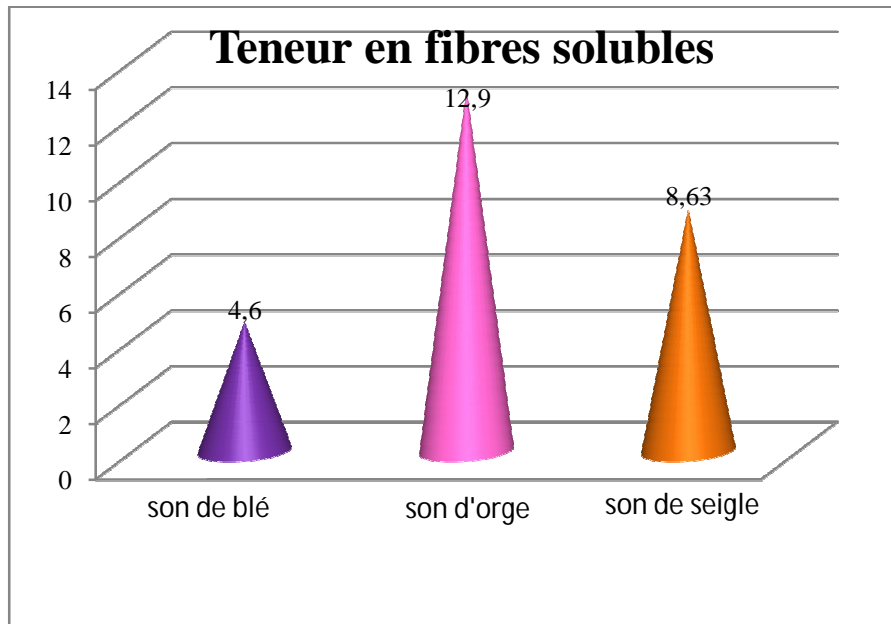


Figure 21 : Teneur en fibres solubles des sons de blé tendre d'orge et de seigle.

2.1.8.3. Teneur en fibres alimentaires insolubles :

D'après FRENOT *et* VIERLING (2002), les fibres insolubles sont les plus efficaces pour améliorer la rapidité du transit et donc éviter la constipation ; elles restent en suspension et gonflent ; elles retiennent 9 à 25 g d'eau par g.

Les teneurs en fibres insolubles des céréales étudiées (figure 22) sont de 47,02 %, 17,90 %, 39,00 % respectivement pour le blé tendre, l'orge et le seigle. D'après ces résultats nous pouvons déduire que le son de blé tendre est beaucoup plus riche en fibres insolubles : 47,02 % par rapport au son d'orge et de seigle, mais cette valeur est légèrement inférieure à celle avancée par KAHN et CHOW (2000) : 48,4 %.

Pour expliquer ces différences, les hypothèses sont plus versées par une série de facteurs : la méthode de dosage appliquée, la composition des fibres solubles et insolubles est influencée par le génotype de l'espèce et son environnement (MANTEY *et al*, 1999). La teneur des fibres alimentaires totales dépend de la variété, de l'étape de germination, des conditions climatiques et de la fertilisation (MALKKI, 2001).

D'après JOANNE *et al.* (2000), la teneur en fibres diminue significativement avec la mouture ainsi que les lipides et les protéines.

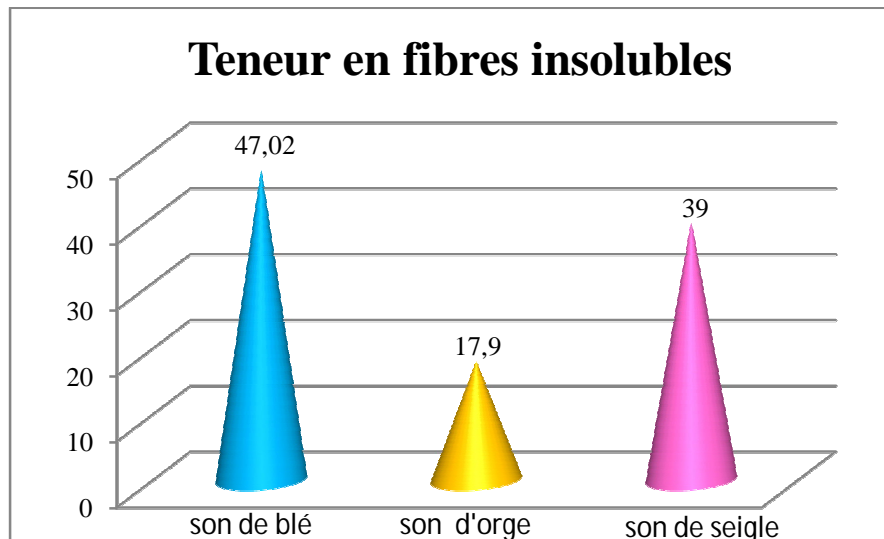


Figure 22 : Teneur en fibres insolubles des sons de blé tendre d'orge et de seigle

2.1.9. Teneur en acide phytique :

Dans les céréales, les facteurs antinutritionnels ne sont présents qu'en quantités limitées ou nulles, ce qui confère à ces matières premières une bonne innocuité. Néanmoins, on rencontre dans certaines espèces de céréales différentes substances connues pour leurs effets antinutritionnels dans d'autres familles végétales. Si leur teneur dans les céréales y souvent faible, leur présence nécessite cependant un contrôle et donc une méthode de dosage spécifique. Pour cela il est intéressant de posséder des méthodes de détermination (GODON et LOISEL, 1984).

La plus grande partie du phosphore des céréales se trouve sous forme de phytates, sels de l'acide phytique (SINGH et REDDY, 1977).

L'acide phytique peut se combiner aux cations bis ou trivalents (calcium, magnésium, fer, zinc, molybdène) tendant à former des complexes insolubles entraînant une perte en ces éléments au cours de la digestion. Il a été montré que

l'acide phytique provoque une diminution de la disponibilité du zinc chez les poulets et l'homme (SINGH et REDDY, 1977).

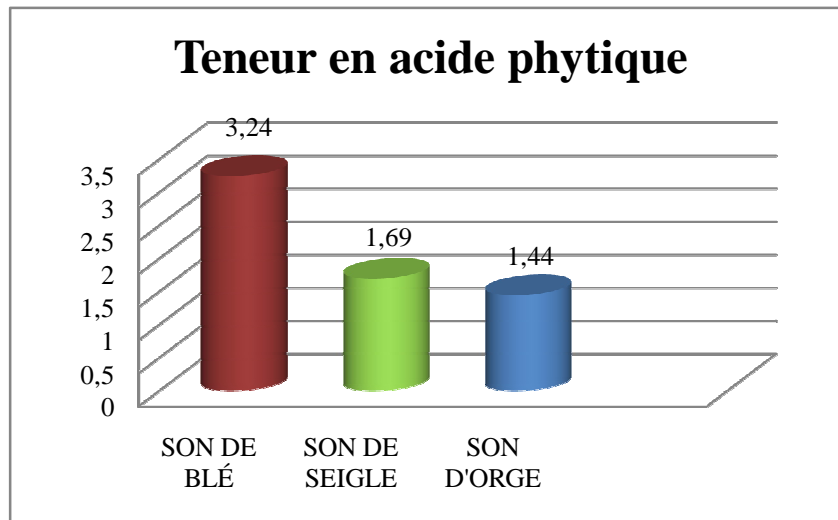


Figure 23 : Teneur en acide phytique (% de MS) des sons de blé tendre d'orge et de seigle

Nous remarquons d'après la figure 23 que la teneur en acide phytique du son de blé est la plus élevée estimée à 3,24 %. Cette valeur correspond à celle trouvée par SINGH *et* REDDY (1977) soit (2.85% - 3.40%) suivi du son de seigle puis le son d'orge.

D'après SINGH *et* REDDY (1977), la teneur en acide phytique pour les sons varie entre 0,6 et 2,2 %.

2.1.10. Absorption et rétention d'eau :

Les fibres permettent une rétention d'eau importante ce qui améliore les fonctions gastro-intestinales en effectuant une action de grattage sur les cellules de la paroi intestinale (MACARDLE *et al*, 2004).

Les fibres favorisent les propriétés de gonflement et la capacité d'absorption et de rétention d'eau, c'est-à-dire la formation des gels. Une partie des

hémicelluloses est soluble dans l'eau liée aux pectines. L'autre partie est insoluble (VIERLING, 2008).

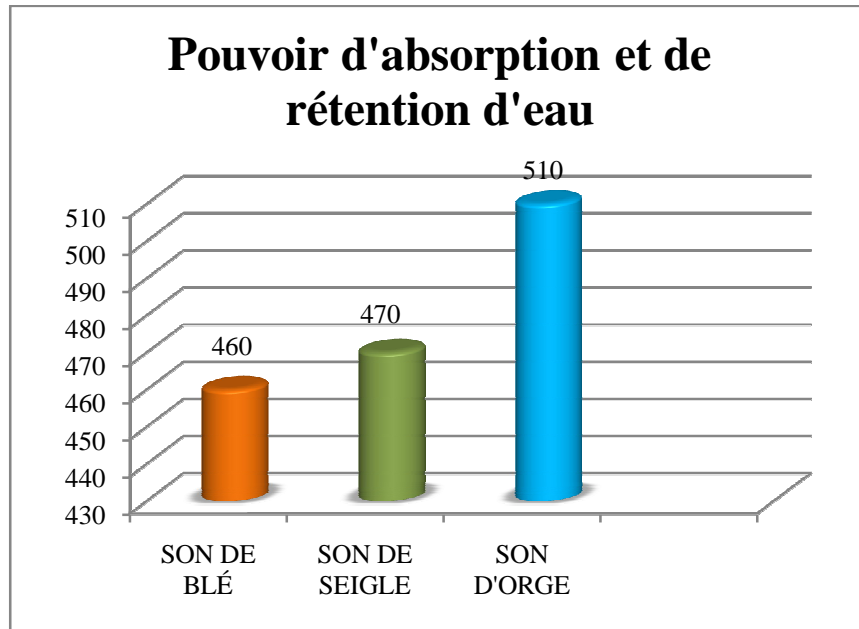


Figure 24 : Absorption et rétention d'eau des sons de blé tendre d'orge et de seigle.

Selon la figure 24, le son d'orge présente une rétention d'eau après égouttage plus importante que le blé et le seigle. Elle est de 510 % (c'est-à-dire 5,1 fois son volume).

Tandis que le son de seigle présente une rétention d'eau inférieure à celle d'orge qui est de l'ordre de 470 % (soit 4,7 fois son volume).

Quant au blé, il présente une rétention d'eau de 460 % (4,6 fois son volume).

Selon FRENOT et VIERLING (2002), le son retient 8,5 fois son poids d'eau.

2.2. Analyses microbiologiques du son :

Les analyses microbiologiques de son des trois céréales (Tableau 19) montrent une absence de tous les germes recherchés, ce qui témoigne que le produit est conforme aux normes. On déduit que le son utilisé est de bonne qualité microbiologique, cela explique le bon conditionnement de ce dernier, de plus les sons étant des produits secs donc ils sont moins exposés à la prolifération des micro-organismes.

Tableau 19 : Résultats des analyses microbiologiques pour le son de blé, d'orge et de seigle.

Germes recherchés	Son de blé tendre	Son d'orge	Son de seigle	Norme JORA (1998)
Levures et moisissures	Abs	Abs	Abs	10 ²
Anaérobies sulfito-réducteur	Abs	Abs	Abs	10 ²

2.3. Analyses toxicologiques du son :

2.3.1. Teneur en aflatoxines :

Les aflatoxines demeurent les plus forts cancérigènes connues jusqu'à ce jour. Elles sont également stables au cours d'un stockage prolongé (CHAUBERT *et al*, 2003).

Bien que les aflatoxines soient principalement associées à des denrées d'origine subtropicale ou tropicale, on a aussi signalé leur présence en climat tempéré sur des céréales traitées à l'acide. Les aflatoxines B1 est un agent cancérigène pour l'homme et constitue l'un des plus puissants facteurs de cancer du foie que l'on connaisse. Les produits contaminés par les aflatoxines conservent leur contamination intacte pendant plusieurs années. C'est la raison pour la quelle, il a été impérativement nécessaire de doser l'aflatoxine en utilisant la méthode chromatographique sur couche mince suivie d'un examen sous lampe UV à 365 nm.

Sous ces conditions, ces mycotoxines devraient émettre une fluorescence intense de couleur bleue et verte respectivement pour les aflatoxines B et G (FAO, 2003).

Dans nos conditions expérimentales et méthodologiques, le son des trois types de céréales analysés est indemne de toute contamination (Figure 25).

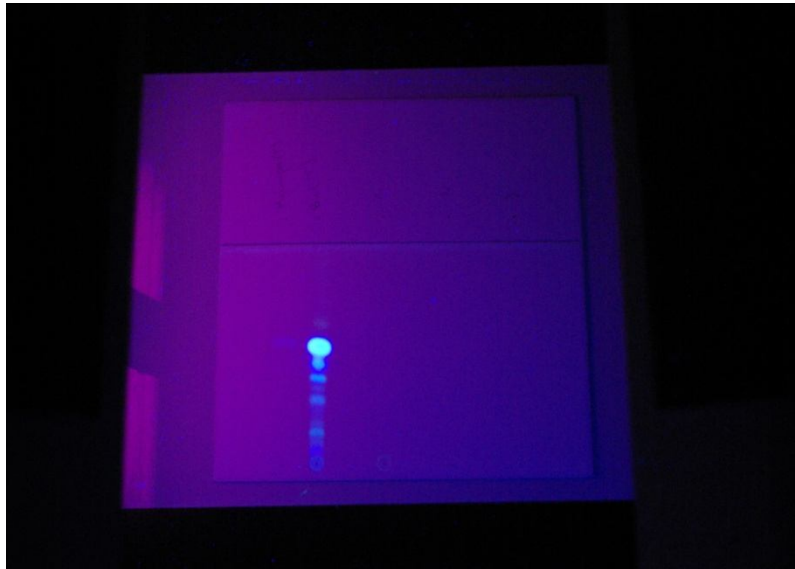


Figure 25 : Résultat du dosage des aflatoxines pour le son de blé tendre, d'orge et de seigle.

➤ **Test de confirmation par HPLC**

Les résultats apparaissent sur le chromatogramme sous forme de pics, spécifique pour chaque composé selon les conditions opératoires utilisées. Chacun d'eux est caractérisé par son aire ou surface A et son temps de rétention (tr). L'interprétation des résultats de l'HPLC s'est faite par une approche qualitative.

L'analyse chromatographique des différents extraits de standards, a permis de mettre en évidence deux pics bien distincts correspondant respectivement aux deux molécules d'aflatoxines AFB1 et AFB2. Les temps de rétention au bout des quels ces différents métabolites sont élués de la colonne et détecté sont respectivement 8.20min, 6.62min (figure 26). Ceux-là caractérisent qualitativement les mycotoxines. De ce fait, nous avons pu identifier les molécules d'aflatoxines (AFs) en comparant

les temps de rétention des différents extraits obtenus à partir d'échantillons de son de blé d'orge et de seigle avec ceux des standards. Il semble ressortir de cette étude que les trois échantillons alimentaires ne sont pas contaminés en raison de l'absence de pics similaires à ceux des standards (figure 27).

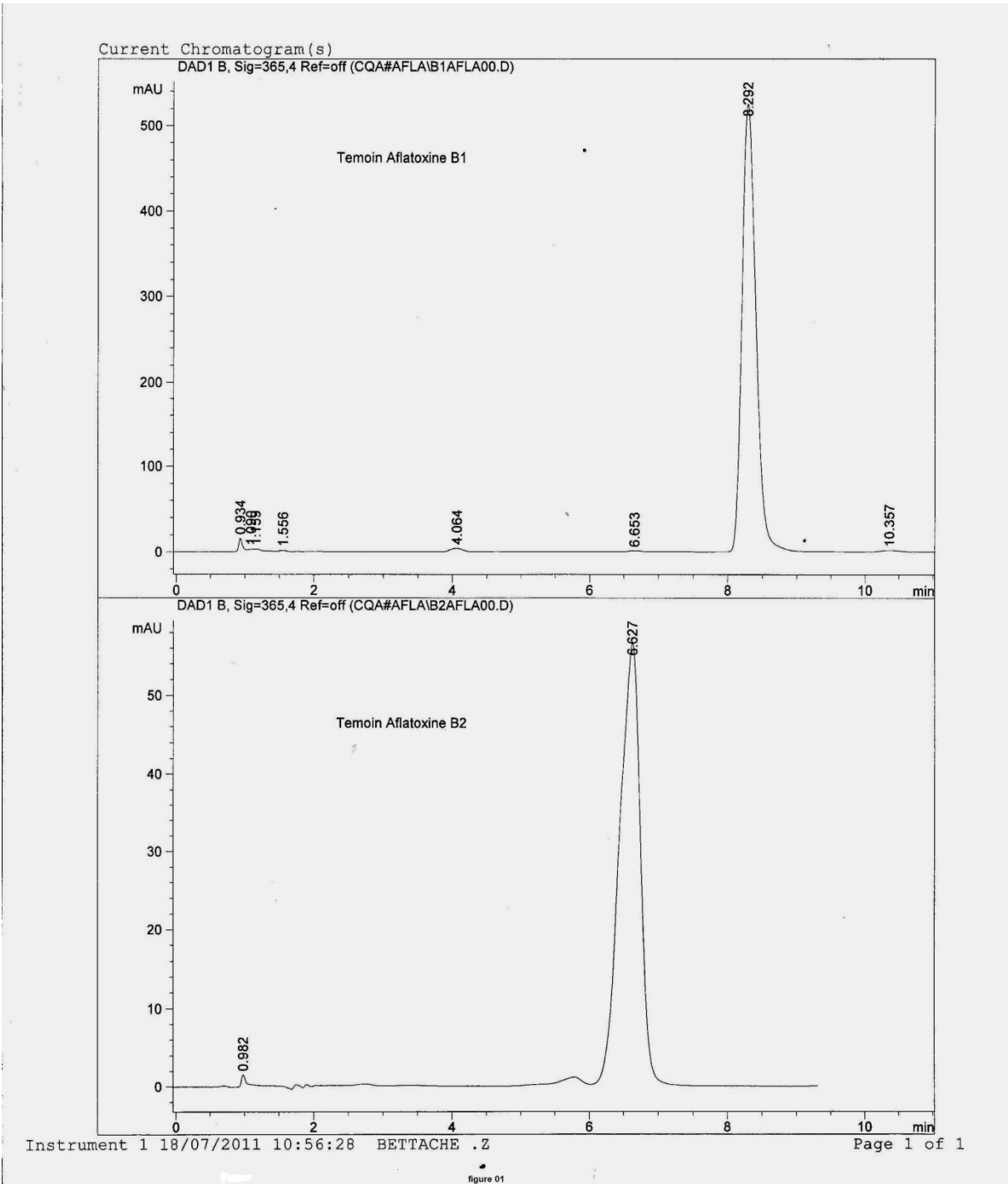
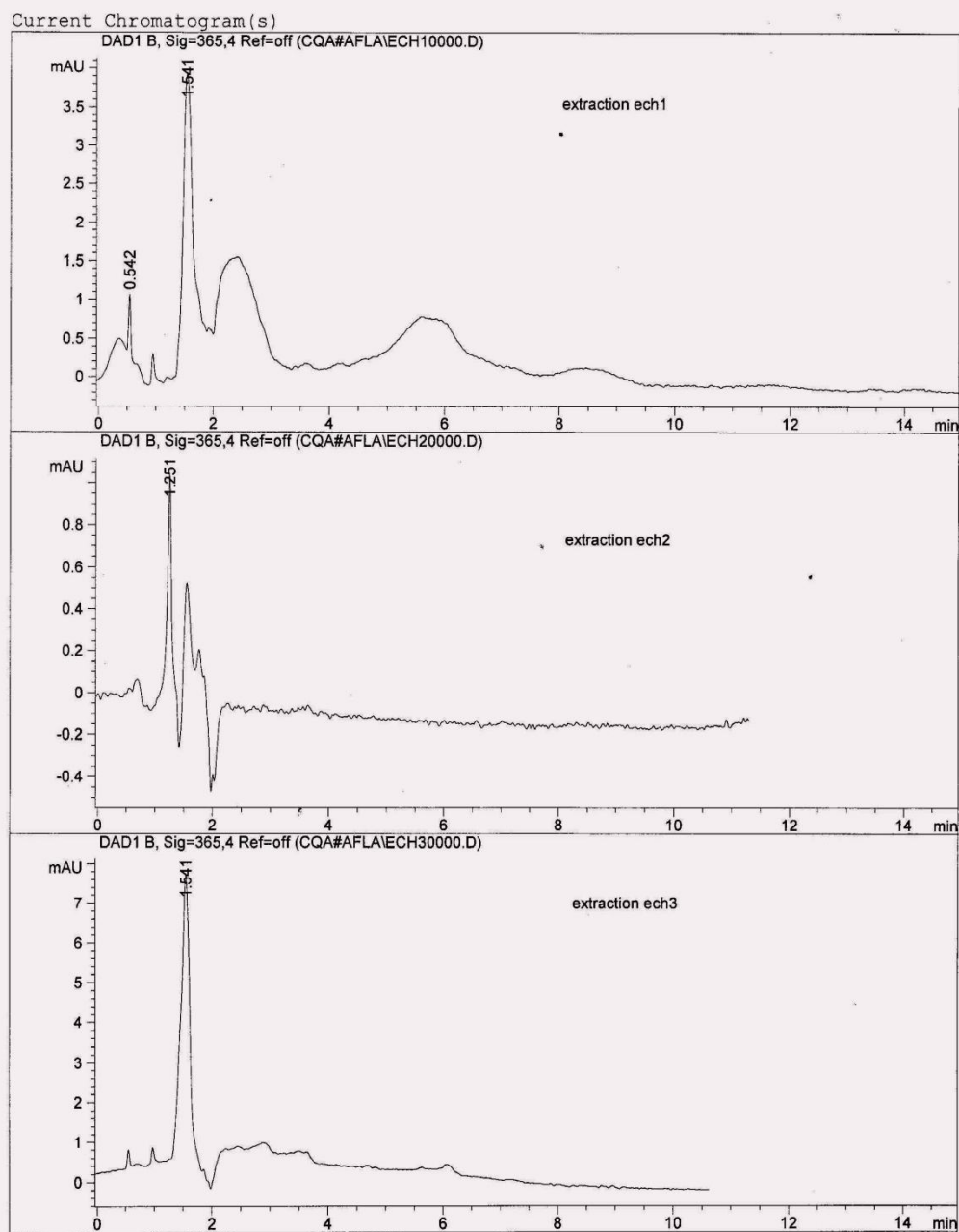


Figure 26 : chromatogramme des standards de l'AFB1 et de l'AFB



Instrument 1 18/07/2011 10:55:09 BETTACHE .Z

Page 1 of 1

Ech1 : son de blé tendre

Ech 2 : son d'orge

Ech 3 : son de seigle

Figure 27: Chromatogramme de son des trois types de céréales étudiés blé, orge et seigle

CONCLUSION

Conclusion

L'étude menée visant la valorisation de la fraction son de trois céréales (blé tendre, orge et seigle) en alimentation humaine, a révélé que les sons contiennent des nutriments essentiels.

Dans nos conditions expérimentales, le son renferme (4,14 %, 1,33 %, 2,06 %) de cendres totales, (2,9 %, 3,8 %, 2,4 %) de lipides, (19,7 %, 19,9 %, 20,4 %) d'amidon et (16,38 %, 12,71 %, 17,44 %) de protéines respectivement pour le blé, l'orge et le seigle.

Les trois types de son analysés possèdent une bonne qualité toxicologique (absence d'aflatoxines) et microbiologique (absence de germes pathogènes : anaérobies sulfito-réducteurs et de contamination : levures et moisissures).

A travers l'ensemble des résultats obtenus, nous pourrions retenir que, les sons de céréales sont une source importante de fibres alimentaire principalement le son de blé (51,75 % MS), ensuite le son de seigle (47,3 % MS) et enfin le son d'orge (30,8 % MS). De ce fait, on pourrait l'utiliser dans les aliments artificiellement enrichis à un taux d'incorporation très faible par rapport au son d'orge et de seigle pour atteindre une teneur équivalente, avec un minimum de modifications de leur formule.

La détermination de la composition biochimique des échantillons nous a permis de connaître l'efficacité indigestible des fibres qui tient en partie à leur pouvoir de gonflement c'est-à-dire à leur capacité de rétention d'eau.

Le dosage de l'acide phytique a révélé que le son des céréales est essentiellement riche en cet élément, du fait qu'il est localisé dans les couches à aleurones et lors de la mouture, ces couches se trouvent coller au tégument externes du grain à savoir le son. Le blé représente la valeur la plus élevée en acide phytique soit 3,24 % MS alors que le seigle et l'orge ont des teneurs moindre (1,69 % et 1,44 % MS) respectivement.

En conclusion, il faut rappeler qu'une alimentation riche en fibres doit donc être considérable comme à priori souhaitable. Même s'il est encore difficile de formuler des revendications précises en terme de santé pour les fibres alimentaire. Des recherches effectuées ont donné des preuves très convaincantes montrant que les fibres agissent sur la fonction gastro-intestinale dans un sens favorable et que les fibres solubles ont des effets bénéfiques sur le métabolisme glucido-lipidique. Il est donc conseillé d'accroître notablement la part des fibres dans l'alimentation quotidienne.

Ce travail présente un point de départ pour d'autres travaux afin de valoriser le son pour son utilisation rationnelle, dans des différents produits alimentaires à usage diététique.

En perspective, il serait intéressant d'intégrer le son des céréales dans la ration alimentaire afin de permettre une adaptation progressive dans le temps car le changement brutal de régime peut provoquer certains désordres métaboliques. Il serait intéressant aussi de penser à des biscuits à base du son des céréales consommés avec le lait comme étant une source de calcium.

Références bibliographique

Références Bibliographique

- **ABECASSIS J. et BERGEZ J., 2009** : Les filières céréalières : organisation et nouveaux défis. Ed Quae 2009.184P
- **ABECASSIS J ET BERGEZ J.E ; 2009**: Les filières céréalières: Organisation et nouveaux défis. Ed QUAE. 184p
- **AMRUTHMAHAL et al, 2003** : Chemical abstracts. American chemical society. Vol 138, N 348126-361901.
- **AOUIR A., 2003** : caractérisation physico-chimiques et nutritionnelles des fibres alimentaire de quelques céréales. Thèse de magister.INA (Alger). 4-85p
- **APFELBAUM M, ROMON M, 2009**: Diététique et nutrition. Edition: Elsevier Masson. 52p.
- **APFELBAUM M., ROMON M., 2009**: Diététique et nutrition. Edition: Elsevier Masson.516 p
- **BENABDELJELIL K., BENMOUSSA H., CHARKI M., 1999**: biodisponibilité du phosphore de phosphates locaux pour le poulet de chair. Troisième journée de la recherche avicole, st malo, France. 157-160p
- **BERREBI W., 2006**: Hepathologie gastro-entérologie. Edition: De Boeck Secundair P307.
- **BOULOC P., 2006**: Le chanvre industriel: production et utilisations. Edition: France Agricole P56.
- **BOURDREAU A. et MENARD G., 1992**: Blé éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université LAVAL. 439P
- **Bourgeois et Leveau, 1980** : Techniques d'analyses et de contrôles dans les industries agro-alimentaires. Vol 3. Edition : technique et documentation lavoisier Paris, page.234.
- **BONNIER G., 1990** : la grande flore en couleurs. Ed Belin 1990. 1330p

- **BUSHUK W., 2001** : Rye : Production chemistry. Det of science food. university of Manitoba, AACC
- **CAHAGNIER B., 1998** : moisissures des aliments peu hydratés. Ed-technique et documentation Lavoisier. 256P
- **CALVEL R., 1975** : boulangerie moderne. 7^{ème} Ed, ED-EYROLLES Paris. 246-283p
- **CATTAN N., 2005**: La nouvelle minceur. Edition: Alpen éditions s.a.m P50.
- **CHAPLIN M.F., 2004**: water structure and behavior. London south. Bank University London, Agleterre [http: www.isbu.ac.uk/water/](http://www.isbu.ac.uk/water/)
- **CHARVET J.C., 1989** : Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations. Céréales eu régions chaudes. AUPELF-UREF, Eds John Libbey Eurotext, Paris. 287-297p
- **CHARVET J.P., 2010**: plantes cultivées (céréales). Encyclopédie Universalis France S.A
- **CHASSERAY D., 1991** : caractéristiues des grains et leurs dérivés. Ed lavoisier. 397-421p
- **CHEVALLIER L., 2009**: Nutrition et conseils. Edition: Elsevier Masson P227.
- **DENNIS L., 1995** : les fibres alimentaires. Office des publications universitaire.6p.
- **DORTE RIECKOFF., TRAUTWEIN E.A., MALKKI Y H., ERBERSDOBLER H.F., 1999**: effect of different cereal fibers on cholesterol and bile acid metabolism In the Syrian golden hamster. Cereal. Chem. 76(5): 788-795
- **DOUMANDJI A., 2009** : Notions de toxicologie. INRA Algérie. Agroscopies. Vol 3. 168p
- **DOUMANDJI A., DOUMANDJI S., DOUMANDJI B., 2003** : technologie de transformations des blés et problèmes dus aux insectes au stock. Office des publications universitaires. 67p

- **FAO., 2003** : manuel sur l'application du système de l'analyse des risques-points critiques pour leur maîtrise (HACCP) pour la prévention et le contrôle des mycotoxines, ISSN 1014-2908 étude FAO alimentation et nutrition 73
- **FEILLET P., 2000** : le grain de blé : composition et utilisation. Editions QUAE 2000. 312 p
- **FEILLET T.P., 1992** : seigle et qualité boulongère. Perspectives Agricoles.N°171, 7981-7982.
- **FRANCONIE H., CHASTANET M., SIGAUT F., 2010** : Couscous, boulgour et polenta transformer et consommer les céréales dans le monde. KARTHALA Edition. 477p
- **FRENOT M., ET VIERLING E., 2002**: Biochimie des aliments: diététique du sujet bien portant. Edition: Doin, 297.
- **GENE, SPILLER M, 2007**: Tout savoir sur les fibres. Edition: le mieux-être P19.
- **GODON B. et LOISEL W., 1984**: guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Technique et documentation Lavoisier. APRIA. 655p
- **GODON B. et WILLM C., 1998**: les industries de première transformation des céréales. Ed-technique et documentation Lavoisier. 652P
- **GODON B., 1991**: biotransformation des produits céréaliers. Ed A.P.R.I.A. 221p.
- **HACHEMI A., 2000**: influence du taux d'incorporation des fibres alimentaires des céréales (orge et blé tendre) dans la fabrication du produit des régimes diététiques (biscuit secs). Effet sur la cholestérolémie. Thèse de magister
- **HOSENEY R.C., 1986** : principals of cereal science and technology.Ed- A.A.C.C. 323p
- **HEBERT J-P et GRIFFON D., 2010** : toutes les bières moussent-elles ? 80 clés pour comprendre les bières. Edition QUAE 2010. 224p.
- **JOANNE L.S., JACOBS D. et MARQUART L., 2000**: grain processing and nutrition. Critical reviews in food. Sci. and Nutr.40(4). 309-326p.

- **KHALON T. CHOW F.I., 2000:** In vitro. Binding of bile acids by rice bran, oats, wheat, corn bran. *cereal.Chem*, Vol 77 (4). 518-521
- **KHALON T.S et CHOW F.I., 2000:** In vitro. Binding of bile acids by rice bran, oats, wheat, corn brun. *Cereal. Chem*, vol 77(4). 518-521p
- **KIGER J.L., KIGER J.G., 1967 :** techniques modernes de la biscuiterie, boulangerie et des produits de régime. Tome 1, Ed- Dunond, Paris. 177- 190p
- **KOUIDRI A., 1999 :** fibre alimentaire en pratique médicale courante : effet de son d'orge et de seigle sur les troubles fonctionnelles intestinaux et sur les métabolismes glucido-lipidiques. Thèse de magister. I.N.A (Alger)
- **LECERF J M., RAGOT B., 2006:** mieux nourrir mon enfant: concelier, plaisir, éducation et santé. Edition: l'Atelier 119p
- **LECERF J M., Ragot B., 2006:** Mieux nourrir mon enfant: concelier, plaisir, éducation et santé. Edition: l'Atelier P120,121,122.
- **LEPEN B. et ADRIAN J., (1982):** l'acide phytique dans les produits céréaliers et ses conséquences nutritionnelles. *Ind. Des céréales*. N°16. 3-8p
- **LOPEZ H.W et REMESY C. et DEMIGNE C., 1998:** l'acide phytique : un composé utile ? *Med.nut.* vol 4. 135-143p.
- **MALKKI Y., 2001:** oat fiber: production, composition physic-chemical properties, physiological effect, safety, and food application, In: CHO, S.S. and DREHER M (Eds) *handbook of dietary fiber*. New York. Marcel DEKKER, Inc, 497-517p
- **MANTHEY F.A, HARELAND G.A et HUSBY D.J., 1999:** soluble and insoluble dietary fiber content and composition in oat. *Cereal Chem*. V76.N°3. 417-420p
- **MARIN J et ZEE J., 1997:** disponibilité du calcium dans les produits laitiers en présence de sons de céréales. *Science des aliments* 17. 523-530p
- **MCARDLE W.D, KATCH F.I, KATCH V.L, 2004:** Nutrition et performances sportives. Edition: De Boeck Supérieur P24.
- **MOUL C., 1980:** cereals. Ed la maison rustique paris. 318p

- **NAVI P., HEGER F., 2005:** Comportement thermo-hydro-mécanique du bois: applications technologiques et dans la structure. P83
- **NUZILLARD D., LAZAR C., BILLAUDEL P., CURILA S., BELLOIR F., 2005 :** Pre-traitement par separation aveugle de sources pour la segmentation d'images multi-spectrales. CRESTIC – URCA. 5p
- **NYABYENDA P., 2005 :** les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique : généralité, légumineuses alimentaire, plantes à tubercule et racine, céréales. CTA centre technique de coopération agricole et rurale. 223p
- **PETER H., RAVEN., RAY FRANKLIN EVERT., SUSAN E., EICHHORN M., 2003:** Biologie végétale. P21.
- **REMSY C., EMIGLE C., LEVERTA M.A., 1994 :** le rôle des produits végétaux, en particulier les fibres, en nutrition préventive. Med et Nut. N°30. 189-198p
- **ROUAU M et THIBAUT M., 1987:** les fibres alimentaires. Ed- APRIA. 355p
- **SAUVANT D., PEREZ J.M et TRAN G., Coord., 2004:** Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. Ed INRA. Vol 2 Paris. 304p
- **SCHWEIZER T.F et WURSCH P., 1979:** analysis of dietary fiber. J.Sci.Food.Agric.30. 613-619p
- **SEYER M., 2005 :** Les fibres alimentaires et le pain de blé entier. Université Laval. Marie-Ève Seyer, 2005
- **SINGH B., REDDY R., 1977:** Phytique acid and mineral compositions of triticale. Journal of food science. 42. N°4, 1077-1083
- **SOUCI S.W., FACHMANN W et KRAUT H., 1986:** In: food composition and nutrition table, 1986/1987. 3rd Ed. Wissenschaftliche verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.germany.
- **SOUCI S.W., FACHMANN W., KRANT H., 1990:** Food composition and nutrition table, 1989/1990, . 3rdEd. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft , stuttgart, 1990. Technique et documentation, APPRIA, 1980

- **TOUNSSI M., 2007:** INDUSTRIE CEREALIERE ET STRATEGIE AGRO-ALIMENTAIRE EN ALGERIE. CIHEAM-Option Méditerranéennes. 102-103p
- **ULLRICH E.S., BARLEY., 2011:** production, improvement and uses. Edition. Wiley and Sons P415.
- **VIGNAU-LOUSTAU L., ET HUYGHE C., 2008:** Strategies fourragères. P90.
- **VIERLING E., 2008 :** **Aliments et boissons:** technologies et aspects réglementaires. Ed DOIN. 203p
- **WILEY ET LASTWILEY, 2007:** Kirt-othmer food and feed technology. Vol 1. P. 341.
- **WILLIAM G., HOPKINS., CHARLES-MRIE EVARD., 2003:** Physiologie végétale. P280.
- **WILLIAM JOHNSON., 2002:** Invitation à la chimie organique. P 153

YOUNG T.E., GALLIE D.R., 2000: Programmed cell death during endosperm development. Plant Molecular Biol. 44. 283-301p

TABLE DES MATIERES

Table des matières

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur les céréales	3
1. Définition	3
2. Classification	3
3. Composition chimique	3
3.1. L'eau	4
3.2. Glucides	4
3.3 Protéines	4
3.4. Lipides	5
3.5. Minéraux	6
3.6. Vitamines	6
4. le blé	7
4.1. Définition	7
4.2. Morphologie et structure	7
4.3. Composition et valeur nutritive	9
5. le seigle	10
5.1. Définition	10
5.2. Morphologie et structure	10
5.3. Composition et valeur nutritive	11
6. L'orge	11
6.1. Définition	11
6.2. Morphologie et structure	12
6.3. Composition et valeur nutritive	13
7. Situation économiques des céréales	13
7.1. Cas de l'Algérie	14

7.2. Dans le monde	14
8. les mycotoxines	15
Chapitre II : Les fibres alimentaires	16
1. Définition	16
2. Principales sources de fibres alimentaires	17
3. Composition chimique	17
3.1. La cellulose	18
3.2. Les hémicelluloses	18
3.3. La lignine	18
3.4. Les pectines	19
3.5. Les β -glucanes	19
4. Propriétés physico-chimiques	19
4.1. Solubilité	19
4.2. Pouvoir d'absorption de rétention d'eau	20
4.3. Viscosité et pouvoir gélifiant	20
5. Teneur en fibres alimentaires des céréales et produits céréaliers	20
6. Effets des fibres alimentaires sur la santé	21
6.1. Troubles fonctionnels intestinaux (TFI)	21
6.2. Fibres alimentaires et glycémie	21
6.3. Fibres alimentaires et cholestérol sanguin	22
6.4. Fibres alimentaires et l'obésité	23
6.5. Les fibres alimentaires et la diverticulose intestinale	23
6.6. Les fibres alimentaires et le cancer du côlon	23
6.7. Les autres effets	23
7. Les substances antinutritionnelles	24
7.1. Définition de l'acide phytique	24

7.2. Structure de l'acide phytique	25
Chapitre I : Matériel et méthodes	26
1. Matériels d'étude	26
2. préparation des échantillons	26
2.1. Le nettoyage	27
2.2. Conditionnement	27
2.3. Agréage	27
2.3.1. Mesure d'humidité	27
2.3.2. Recherche des impuretés	27
2.3.3. Détermination du poids à l'hectolitre	28
3. Mouture expérimentale	29
3.1. Mouture de l'orge	29
3.2. Mouture du blé tendre et du seigle	29
3.3. Les principaux produits de la mouture	32
➤ Cas de l'orge	32
➤ Cas de seigle	32
➤ Cas de blé tendre	32
3.4. Le taux d'extraction	32
4. Méthodes d'analyses	33
4.1. Analyses physico-chimiques	33
4.1.1. Détermination de la teneur en eau	33
4.1.2. Détermination du taux de cendres	34
4.1.3. Détermination de l'acidité grasse	35
4.1.4. Détermination de la cellulose brute	37
4.1.5. Dosage des protéines	38
4.1.6. Dosage de la matière grasse	40
4.1.7. Fractionnement et dosage des polysides pariétaux	41

4.1.8. Dosage enzymatique des fibres alimentaires	43
4.1.9. Dosage de l'amidon	45
4.1.10. Dosage de l'acide phytique	46
4.1.11. Détermination de l'absorption et de la rétention d'eau	47
4.2. Analyses microbiologiques	48
4.2.1. Préparation des dilutions	48
4.2.1.1. Prise d'essai	48
4.2.1.2. Cas des produits solides	48
4.2.1.3. Cas des produits liquides	48
4.2.2. Recherche et dénombrement des levures et moisissures	50
4.2.3. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito- réducteurs	52
4.3. Analyse toxicologique	55
4.3.1. Dosage des aflatoxines	55
Chapitre II : Résultats et discussions	57
1. analyse des grains	57
1.1. Grain de blé tendre	57
1.1.1. Recherche des impuretés	57
1.1.2. Poids spécifique	57
1.2. Grain d'orge	58
1.2.1. Recherche des impuretés	58
1.2.2. Poids spécifique	58
1.3. Grain de seigle	59
1.3.1. Recherche des impuretés	59
1.3.2. Poids spécifique	59
1.4. Humidité	60
2. Analyse du son	60

2.1. Analyses physico-chimiques	60
2.1.1. Humidité	60
2.1.2. Taux de cendres	61
2.1.3. Teneur en matière grasse	62
2.1.4. Teneur en protéines	63
2.1.5. Acidité grasse	64
2.1.6. Teneur en amidon	65
2.1.7. Teneur en polysides pariétaux	66
2.1.7.1. Teneur en cellulose brute	66
2.1.7.2. Teneur en hémicellulose, cellulose et lignine	68
2.1.8. Teneur en fibres alimentaires	69
2.1.8.1. Teneur en fibres alimentaires totales	70
2.1.8.2. Teneur en fibres alimentaires solubles	70
2.1.8.3. Teneur en fibres alimentaires insolubles	71
2.1.9. Teneur en acide phytique	72
2.1.10. Absorption et rétention d'eau	73
2.2. Analyses microbiologiques	75
2.3. Analyses toxicologiques	75
2.3.1. Teneur en aflatoxines.	75
Conclusion	79

ANNEXES

Annexe 01 : Matériel et réactifs utilisés au cours de la pratique

Catégorie	Microbiologie	Physico-chimie
Milieux De Culture	<ul style="list-style-type: none"> -Tse - Gélose VF - Ampoule D'alun De Fer - Ampoule De Sulfite De Sodium - Gélose Sabouraud 	<ul style="list-style-type: none"> - Eau Distillée - Alcool Ethylique A 95% - Phénolphtaléine - D'hydroxyde De Sodium - Acide Sulfurique - Acide Borique - Ethanol - Rouge De Méthyle - Sulfate De Potassium - Sulfate De Cuivre - Sélénium - Ether De Pétrole. - Acide Chlorhydrique - Chlorure Ferreux - Salicylate De Sodium - Méthanol - Chlorure De Sodium - Dichlorométhane - Toluène-Acétonurile
Appareillage	<ul style="list-style-type: none"> - Etuves Réglées à 37, 44, 105° C. - Bec Bunsen - Autoclave - Balance Analytique De Précision - Bain Marie - Réfrigérateur Pour Stocker Les Milieux De Culture Et Les Echantillons. - Anse De Platine. - Porte Tubes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dessiccateur - Agitateur Mécanique - Centrifugeuse - Balance Analytique - Soxhlet - Résistance - Barreau Magnétique - Spatule - Dispositif De Chauffage Des Matras De (Kjeldhal) - Four A Moufle - Distillateur - Trémie - Tamis - Mélangeur - Pince -Diviseur - Niplema-Litre. - Brabender - Cartouche De Papier Filtre
Verreries	<ul style="list-style-type: none"> - Tubes A Essais Stériles - Flacons Stériles - Pipettes Pasteur - Pipette Graduées - Boites De Pétries 	<ul style="list-style-type: none"> - Fiole Conique - Pipette Graduées - Matras De Kjeldhal - Bécher - Capsules - Ballons De 500m - Capsules A Filtre

Annexe 02 : les différentes impuretés présentes dans les grains de céréales.

Les grains cassés ou brisés

Les grains secs sont sensibles aux chocs, non seulement au cours du battage, mais aussi et surtout au cours des transports mécanique au silo.

Les grains germés

Ce sont des grains qui, au cours de la maturation ont subi des conditions de température et d'humidité favorables au démarrage des activités enzymatiques propre à la germination.

Les grains échaudés et petits grains

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

Les grains chauffés

Les grains chauffés ont subi une température anormalement élevée: soit à la suite de fermentations dues aux micro-organismes se développant au cours de stockage pratiqué dans de mauvaises conditions, soit à la suite d'un séchage, à température trop élevée.

Les grains cariés et boutés

Les grains boutés sont reconnaissables à l'œil nu, par une coloration noirâtre des poils de la brosse au sommet.

Les graines étrangères

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

Annexe 03 : Résultats d'analyses physicochimiques du son de blé tendre, d'orge et de seigle.

Teneur en eau					
caractère	Essai 1	Essai 2	Essai 3	moyenne	Ecart type
Blé tendre	14,8	14,1	14,4	14,43	±0,1
Orge	13	13	13	13	/
Seigle	18	5,6	11,37	11,65	±2,2

Teneur en matière minérale					
caractère	Essai 1	Essai 2	Essai 3	moyenne	Ecart type
Blé tendre	4,46	4,69	3,25	4,14	±0,4
Orge	1,28	1,31	1,41	1,33	±0,04
Seigle	1,33	2,60	2,26	2,06	±0,4

Teneur en matière grasse					
caractère	Essai 1	Essai 2	Essai 3	moyenne	Ecart type
Blé tendre	2,85	2,88	2,97	2,90	±0,04
Orge	3,88	3,83	3,75	3,82	±0,04
Seigle	2,39	2,46	2,47	2,44	±0,02

Teneur en protéines					
caractère	Essai 1	Essai 2	Essai 3	moyenne	Ecart type
Blé tendre	16,32	16,37	16,45	16,38	±0,04
Orge	12,76	12,68	12,69	12,71	±0,02
Seigle	17,39	17,42	17,51	17,44	±0,04

Teneur en acidité grasse					
caractère	Essai 1	Essai 2	Essai 3	moyenne	Ecart type
Blé tendre	0,011	0,011	0,017	0,013	±0,002
Orge	0,011	0,012	0,018	0,011	±0,002
Seigle	0,010	0,016	0,013	0,011	±0,002

Teneur en amidon					
caractère	Essai 1	Essai 2	Essai 3	moyenne	Ecart type
Blé tendre	18,9	19,5	20,7	19,70	±0,6
Orge	20,00	19,83	19,84	19,92	±0,05
Seigle	19,5	20,6	21,2	20,43	±0,5

Teneur en cellulose brute					
caractère	Essai 1	Essai 2	Essai 3	moyenne	Ecart type
Blé tendre	8,59	8,87	9,02	8,83	±0,1
Orge	5,16	6,67	5,99	5,94	±0,2
Seigle	5,45	5,26	5,26	5,32	±0,06

Teneur en acide phytique					
Caractère	Essai 1	Essai 2	Essai 3	moyenne	Ecart type
Blé tendre	5,15	3,83	2,54	3,84	±0,8
Orge	1,52	1,31	1,49	1,44	±0,07
Seigle	1,95	1,62	1,50	1,69	±0,1

La rétention d'Eau					
caractère	Essai 1	Essai 2	Essai 3	moyenne	Ecart type
Blé tendre	461	462	457	460	±1,6
Orge	509	513	508	510	±1,6
Seigle	472	469	469	470	±1

Annexe 04 : Le journal officiel de la république algérienne 1998

PRODUITS	n	c	m
1. Epices et plantes aromatiques séchées :			
— germes aérobies à 30° C	5	2	10 ⁵
— moisissures	5	2	10 ³
— <i>Escherichia coli</i>	5	2	10
— <i>Salmonella</i>	5	0	absence
2. Fruits secs (dattes, figes, pruneaux, raisins secs...) :			
— levures osmophiles	5	2	10
— moisissures	5	2	10 ²
— <i>Escherichia coli</i>	5	2	3
3. Céréales en grains :			
— moisissures	5	2	10 ²
— clostridium sulfite-réducteurs à 46° C	5	2	10 ²
4. Produits de mouture (semoules, farines) et pâtes alimentaires :			
— moisissures	5	2	10 ²
— clostridium sulfite-réducteurs à 46° C	5	2	10 ²
5. Dérivés de céréales (biscuits, biscottes, pâtes aux œufs...) :			
— germes aérobies à 30° C	5	2	10 ³
— <i>Escherichia coli</i>	5	2	3
— <i>Staphylococcus aureus</i>	5	2	10 ²
— moisissures	5	2	10 ²
— <i>Salmonella</i> (1)	5	0	absence