

***Essai d'incorporation du germe du
blé tendre dans une farine à tendance
biscuitière***

Présenté par : Mr. ABOUDAOU MALEK.
Promoteur : Mr. ANCER B. Maître de conférences.
Année universitaire 2010/2011

Jury: Présidente : Mme FERHAT Z. Maître de conférences. Examineurs: Mr. AMIALI M. Maître de conférences. Mme OUNANE G. Maître de conférences.

Table des matières

REMERCIEMENT . .	5
Dédicace . .	6
Liste des abréviations . .	7
ص غ ل م ل ا . .	9
Abstract . .	10
Résumé . .	11
Introduction . .	12
PARTIE I : Synthèse bibliographique . .	14
I.1) Généralités sur les céréales . .	14
I.1.1) Situation de la culture du blé dans le monde . .	14
I.1.2) Situation de la culture de blé en Algérie . .	14
I.1.3) Importance des céréales dans l'alimentation des algériens . .	15
I.2) Blé tendre . .	15
I.2.1) Structure du grain de blé . .	16
I.2.2) Composition biochimique du grain de blé . .	16
I.2.3) Le germe de blé (Figure 01) . .	17
I.3) Technologie de transformation des grains de blé tendre . .	18
I.3.1) Nettoyage et préparation . .	18
I.3.2) La Mouture (Figure 02) . .	18
I.4) Extraction et importance économique du germe de blé . .	19
I.4.1) Extraction de germe en mouture du blé tendre . .	19
I.4.2) Production et importance économique du germe de blé tendre . .	27
I.5) Composition biochimique du germe et sa valeur nutritionnelle . .	28
I.5.1) Humidité . .	29
I.5.2) Composition minérale et vitaminique . .	29
I.5.3) Fraction protéique . .	31
I.5.4) Fraction glucidique . .	32
I.5.5) Les enzymes . .	33
I.5.6) Fraction lipidique . .	33
I.6) La densité nutritionnelle du germe . .	35
I.7) Utilisation industrielle du germe de blé et l'importance de la stabilisation . .	36
I.7.1) Les procédés de stabilisation du germe de blé . .	36
I.7.2) Influence sur la durée de conservation . .	37
I.8) Qualité technologique du blé tendre . .	37
I.8.1) La valeur biscuitière . .	37
PARTIE II : Matériels et méthodes analytiques . .	43
II.1) Matériel végétal . .	43
II.2) Préparation des échantillons . .	43
II.2.1) Farine de blé tendre . .	43
II.2.2) Farine de germe de blé tendre . .	43

II.2.3) Mélanges et taux d'incorporation . . .	44
II .3) Méthodes analytiques . . .	44
II.3.1) Analyses biochimiques . . .	44
II.3.2) Analyses Technologiques . . .	46
II.3.3) Tests de Cuisson . . .	50
PARTIE III : Résultats et interprétations . . .	54
III.1) Etude de la matière première . . .	54
III.1.1) Caractéristiques biochimiques . . .	54
III.1.2) Les caractéristiques technologiques . . .	58
III.2) Etude des mélanges . . .	61
III.2.1) Influence du taux d'incorporations de la farine de germe sur les caractéristiques biochimiques des mélanges . . .	61
III.2.2) Influence du taux d'incorporations de la farine de germe de blé sur Les caractéristiques technologiques des mélanges . . .	65
III.2.3) Relations entre les résultats des différentes analyses biochimiques et technologiques . . .	75
III.3) Etude des Biscuits . . .	76
III.3.1) Etude des caractéristiques physiques . . .	77
III.3.2) Evaluation sensorielle et traitement statistique . . .	78
III.3.3) Qualité générale des biscuits . . .	82
CONCLUSION GENERALE . . .	83
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . . .	85

REMERCIEMENT

Je remercier tout d'abord dieu

Pour m'avoir donné la chance d'accomplir ce modeste travail

Au terme de mon travail, il m'est agréable d'exprimé mes sincères

remerciements à mon promoteur Monsieur **ANCER B.**, maître de conférences à l'*école nationale supérieure agronomique*, pour la confiance qu'il m'a toujours manifestée, l'aide, les orientations et les conseils judicieux prodigués tout le long de mon travail. Je lui souhaite toute réussite le long de sa carrière.

Mes remerciements vont également à Madame **FERHAT Z.**, maître de conférences à l'*école nationale supérieure agronomique*, de m'avoir fait honneur d'accepter de présider mon jury.

Je tiens à exprimer ma respectueuse gratitude à Madame **OUNANE G.**, maître de conférences à l'*école nationale supérieure agronomique*, et Monsieur. **AMIALI M.**, maître de conférences à l'*école nationale supérieure agronomique*, qui on bien voulu faire partie de ce jury.

Je remercier également tous les membres du laboratoire de **MOULIN HABOUR D'ORAN** surtout **Mlle SALIMA.**, sans oublier **Mr BENABBOUN N.**, directeur technique.

Toute l'équipe de laboratoire de CARIF S.A. France surtout **Mr LACHAIC T.**, **MOUNIER G.**, et **Mlle CRISTELLE.**

Je remercier également **Mr ALBERT B.**, De A.I.T AGRO INGREDIENTS TECHNOLOGIE FRANCE.

Toute l'équipe de iso9 international surtout notre directeur **TAHAR ISSIEKHEM**, (soraya, djoher, zehira, mohamed, abdellah, el hadj mohamed el aïd, sadjia), baya et surtout **moussa** et **nabil** .

En fin je remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Merci encore une fois

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail : A la mémoire de mon premier promoteur Mr AZOUT. B que dieu le bénie et l'accueil dans son vaste paradis. A la mémoire de mon père que dieu le bénie et l'accueil dans son vaste paradis. A ma très cher mère que dieu lui donne longue vie. A ma très cher grande mère que dieu lui donne longue vie. Ma pensée va vers mes petits enfants Hiba, omar et ma chère femme à qui je dis merci pour son appui moral qu'elle m'a prodigué par sa gentillesse et sa compréhension. A mes très chères frère : Saïd et Hakim. A mon beau père et belle mère et leurs enfants. A tous mes amis qui mon soutenus tout le long de se travail surtout à **MOUSSA M et Nabil B, AZIOUZ, SAÏD, MOHAMED, NABIL, MOHAMED SALAH, AMINE, ABDELAH, ZHIRA , DJOHER, ...** A touts qui mon encourager de prés ou de loin.*

Liste des abréviations

- **A** : Absorption d'eau.
- **A.I.T** : société française AgroIngrédientsTechnology
- **A.F** : Affaiblissement de la pâte après 12 min.
- **B** : Temps de développement de la pâte.
- **B_i** : broyeur.
- **C.D** : Stabilité de la pâte.
- **C.Hy** : Capacité d'hydratation.
- **C.T.U.C**: Centre français Technique de l'union intersyndicale de la biscuiterie, biscotterie et industrie céréalières.
- **Cl 1, 2, 3, 4** : claqueur.
- **E UROGERME** : société française ingrédient et solution pour blé et farine
- **F**: farine.
- **F.A.O.STAT**: food agriculture organization statistics.
- **FG** : farine de germe de blé.
- **g** : Gramme.
- **G** : gonflement.
- **G.B**: germe de blé.
- **G H**: Gluten humide.
- **G S**: Gluten sec.
- **h** : Heure.
- **H** : Humidité.
- **Ha** : hectare.
- **Hf** : Humidité finale.
- **H.M.F** : hydroxy-méthyl-furfural
- **Hi** : Humidité initiale.
- **IC** : indice de chute.
- **I.S.O** : International standardisation organization.
- **I.T.G.C** : Institut Technique des Grandes Cultures.
- **j** : joules.
- **L** : Extensibilité de la pâte.
- **m** : Masse.
- **M.F** : Methylfurfural
- **mg**: Milligramme.
- **min** : Minute.
- **ml**: Millilitre.
- **MS** : Matière sèche.
- **N** : Normalité.

- **nm** : nanomètre.
- **NA** : Norme Algérienne.
- **NF**: Norme Française.
- **O.A.I.C** : office algérienne interprofessionnelle des céréales.
- **P** : Ténacité de la pâte.
- **Pa** : pascale.
- **P/L** : Rapport de configuration ténacité/ extensibilité.
- **PT** : Protéines totales.
- **r**: Coefficient de corrélation.
- **Sec** : seconde.
- **t** : Temps.
- **Kcal** : kilocalorie.
- **Kg** : kilogrammes.
- **Q** : quintaux.
- **UV** : Rayons Ultraviolets.
- **V**: Volume.
- **W** : Force boulangère de la pâte.
- **w** : watt.
- **ZEL** : Test de sédimentation de ZELENY.

ص خ ل م ا

أظهرت نتائج الدراسة أن جنين القمح هو أكثر تراء من حيث العناصر الغذائية من دقيق القمح. إدماج جنين القمح بنسب مختلفة حسنت كما وكيفا الخصائص البيوكيميائية والتكنولوجية لدقيق القمح اللين. وأظهرت الدراسة أيضا قبول البسكويت المصنوع من خليط دقيق القمح اللين وجنينه أكثر من البسكويت المصنوع من دقيق القمح اللين وحده، خصوصا الخليط ذو النسبة 5٪ من دقيق جنين القمح اللين.

الكلمات المفتاحية: جنين القمح اللين، طحين القمح اللين، طحين البسكويت، البسكويت، القمح اللين.

Abstract

The results analysis showed that wheat germ is more wealthy than wheat flour as far as the nutrients are concerned.

The incorporation of wheat germ in different proportions improved the biochemical and technological aspects of flour in terms of quantity and quality.

Furthermore, study showed a much more interesting biscuits acceptability compared with the samples especially at 5% rate.

Key words: SoftWheat germ, soft wheat flour, biscuit flour, biscuit, soft wheat.

Résumé

L'analyse des résultats a montré que le germe de blé est plus riche en nutriments que la farine de blé.

L'incorporation du germe de blé à différentes proportions a amélioré quantitativement et qualitativement les caractéristiques biochimiques et technologiques des farines.

L'étude a montré par ailleurs une acceptabilité beaucoup plus intéressante des biscuits comparativement aux témoins surtout au taux de 5 %.

Mot clé : Germe de blé tendre, farine de blé tendre, farine biscuitière, biscuit, blé tendre.

Introduction

Dans les pays en voie de développement, la tendance lourde d'évolution des consommations alimentaires depuis un bon nombre d'années était la diminution forte des produits carnés compensés par des produits céréaliers, à tel point que le rapport entre la contribution des protéines végétales et dans la ration alimentaire ne dépasse pas les 10%.

S'il est reconnu que les protéines animales ont une valeur nutritionnelle beaucoup plus intéressante, ces derniers sont perçus maintenant comme étant une source de maladies métaboliques et nutritionnelles par leur apport en matière grasse saturé et en cholestérol. C'est pourquoi même dans les pays développés la tendance est à la consommation de protéines végétales dont les céréales et les légumineuses en sont la source principale. Pour maintenir cette image favorable, il est important que la filière « céréales » en particulier de faire preuve de bonne qualité nutritionnelle de ce type de produits. Il est à noter que les protéines végétales avec les autres composants de produit sont modifiées au cours des traitements technologiques entraînant une perte de leur qualité nutritionnelle. A côté du problème que soulève la détection de l'acrylamide dans un certain nombre de produits céréaliers, se pose de manière plus générale la question du risque de formation de nouvelles molécules nocives dont l'origine peut être la matière grasse, les sucres ou les protéines (caramélisation des sucres, auto- oxydation des lipides, réaction de Maillard).

La réaction de Maillard qui est en grande partie responsable du blocage de la lysine et dont le taux peut atteindre les 50% de la lysine totale dans les céréales est à l'origine de la genèse d'un certain nombre de molécules suspectes qui sont l'acrylamide, les furfuraux avec leurs différentes formes (furfural, M.F, H.M.F) et la carboxyméthyllysine dont les effets sanitaires négatifs sont suspectés (mutagènes, réaction inflammatoire et auto-immune).

Pour parer à ce type de problème, la maîtrise de ces différentes réactions et l'amélioration de la qualité nutritionnelle du biscuit s'imposent. Si pour le premier élément le problème est plus complexe, pour le second l'incorporation du germe à différents taux serait une solution au problème. En effet, ce sous produit de part sa composition biochimique (richesse en protéines, en lipides, en glucides, en éléments minéraux et vitamines) peut palier dans de grandes proportions à la baisse de la valeur nutritionnelle des biscuits en apportant beaucoup plus de lysine et d'agents antioxydants.

Le germe de blé est un bon exemple comme un sous-produit d'une industrie agro-alimentaire qui peut être valorisé et devenir une matière première importante pour la préparation de différents produits (enrichissement des produit alimentaires, extraction de l'huile de germe et l'utilisation dans le domaine pharmaceutique). De grands progrès ont été réalisés à ce sujet, au cours de ces dernières années par la majeure partie des pays développés, et plusieurs industries sont parvenues à utiliser, régénérer, revivifier ce produit qui, auparavant était mélangé avec le son, ce qui par conséquent constitue une perte sèche aussi bien pour le producteur que pour le consommateur.

En Algérie avec les besoins qui sont estimés pour le blé tendre à **3,3 millions de tonnes (Anonyme, 2007)**. Ce sous-produit s'il était récupéré constituerait une masse importante qui pourrait être utilisé pour la valorisation des produits céréaliers (pâtes alimentaires, biscuits, pain, biscottes....)

Malheureusement en absence de politique de valorisation des sous-produits meuniers, le germe se retrouve associé aux sons et remoulages et servira comme aliment pour la filière « production animale ». Il s'avère ainsi nécessaire que l'Algérie entreprenne des actions en vue de promouvoir une production locale de germe dans le but de le valoriser dans l'alimentation humaine et de faire évoluer une production mondiale de germe de blé estimée annuellement à 25 millions de tonnes (**F.A.O.STAT, 2008**) .

Si quelques essais de valorisation de ce germe ont été réalisés à l'échelle nationale et qui ont donné des résultats probants, il est impératif d'élargir les voies de valorisation les plus rentables et les plus bénéfiques, tant sur l'échelle économique que nutritionnelle. C'est dans cette optique que nous nous sommes intéressés à ce sous- produit en vue de son incorporation à différents taux dans une farine à tendance biscuitière.

Ce travail sera compartimenté en trois et consistera-en :

-Une étude de la composition biochimique et de la qualité technologique de la farine biscuitière et du germe de blé tendre.

-Une préparation des mélanges de farines de blé tendre avec celles du germe de blé à différents pourcentages.

- Une étude biochimique et technologique des différents mélanges farine/germe et une analyse physique et sensoriel des biscuits préparés.

PARTIE I : Synthèse bibliographique

I.1) Généralités sur les céréales

I.1.1) Situation de la culture du blé dans le monde

Dans tous les pays du monde, les céréales, constituent la base de l'alimentation humaine en tant que source protéique et énergétique. La culture de blé est universellement répandue dans le monde. Les principaux producteurs sont localisés dans les zones tempérées entre le trentième et le soixantième parallèle, dans la région des plaines et des plateaux où la végétation naturelle serait la prairie ou la steppe.

En plus de l'apport des protéines et glucides les céréales apportent des vitamines et des fibres alimentaires. Leurs protéines sont déficientes en certains acides aminés essentiels, lysine et méthionine. Certaines céréales contiennent une protéine particulière, le gluten, qui permet d'élaborer du pain et des biscuits. (FEILLET, 2000) ; (GAUVARD *et al*, 2002).

Actuellement, les céréales fournissent une bonne partie (45 %) des calories alimentaires de l'humanité (FAO, 2008). ¹

I.1.2) Situation de la culture de blé en Algérie

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien, en effet elles fournissent plus de 60 % de l'apport calorique et 75-80 % de l'apport protéique de la ration alimentaire nationale (TALAMALI, 2000).

Les céréales sont vraisemblablement la spéculation prédominante de l'agriculture algérienne, en raison de l'importance stratégique des produits céréaliers qui constituent l'essentiel de la ration alimentaire quotidienne de la population malgré les superficies occupées, la production nationale continue à stagner avec des rendements moyens de 7 Qx / Ha. Cette situation laisse le pays fortement dépendant du marché extérieur. Les rendements sont variables en fonction de la région, du climat, de la variété et des techniques culturales. (ACHEM et HADJARI, 2000).

La faiblesse de la production céréalière en Algérie découle en majeure partie des faibles potentiels des rendements. Il est impératif de faire accroître les rendements à

L'hectare parce qu'il n'est plus possible d'augmenter les superficies consacrées aux céréales. (BARKAT, 2005).

La production nationale a fait des progrès pendant les trois dernières années grâce aux programmes de développement, d'intensification et de soutien à cette filière et qui commence à porter ses fruits. L'Algérie n'aura pas besoin de recourir à l'importation des blés dur et tendre pour la deuxième année consécutive (2009 et 2010), avec une production céréalière record de près de 61,5 millions de quintaux. Les rendements sont passés de 8 quintaux par hectare vers la fin des années 1980 à 17 quintaux par hectare en 2009. (KEHAL, 2010).

I.1.3) Importance des céréales dans l'alimentation des algériens

I.1.3.1) Importance économique

Près d'un milliard de tonnes de céréales sont produits annuellement dans le monde, le blé et le riz en sont les plus importants.

En **2005** la production mondiale des céréales est **2 239,400** millions de tonnes (**FAOSTAT**). L'Algérie se classe huitième comme pays importateur de céréales au monde (**FAO, 2002**). Cette consommation directe du blé augmente avec la démographie mais aussi avec la diversification des modes de consommation d'aliments à base de céréales (pain, pâtes, pizzas, galettes, biscuits etc.....). La consommation humaine moyenne de céréales en Algérie /personne/ an est de **223 Kg**. (**HERVIEU et al, 2006**).

I.1.3.2) Importance nutritionnelle

Les céréales constituent l'essentiel de la ration alimentaire de l'algérien. Le régime alimentaire en Algérie reste largement déterminé par la disponibilité des produits fabriqués localement ou importés et par l'accessibilité de leur prix au consommateur. Ceci explique la prédominance des produits céréaliers dans le total calorique dont bénéficie le citoyen algérien. C'est tout dire de l'importance socioéconomique que représente la production céréalère en Algérie. Les blés sont surtout des aliments glucidiques (**Tableau 01**), d'où leur rôle principalement énergétique (**Tableau 02**). La teneur en protéines varie selon les céréales considérées.

Tableau 01 : Valeur nutritionnelle des farines pour 100g de M.S

	Valeur nutritionnelle			
	Eau(%)	Protéines (%)	Lipides (%)	Glucide (%)
Farines				
Type 150	14-15	10,0-11,5	1,5-2,0	68-73
Type 80	14-15	9,5-11,0	1,2-1,6	69-74
Type 55	14-15	9,0-10,5	1,0-1,2	70-75

Source : (SURGET et BARRON, 2005).

Tableau 02 : Apports nutritifs des principaux produits dérivés des céréales

COMPOSITION EN %	SEMOULE	FARINE	PATES ALIMENTAIRES
Amidon Matière minérale	85 – 90	60 – 72	88 – 90
Protéines	0.90 – 1.10	0.52 – 0.65	0.9 – 1.1
Eau	11 – 15	9 – 15	11.5 – 12.5

Source : (SELSELET, 1991).

I.2) Blé tendre

I.2.1) Structure du grain de blé

Le grain de blé (**Figure 01**) est un caryopse de petite taille. Il se compose de trois régions anatomiques bien distinctes (**FEILLET, 2000**) ; (**SURGET et BARRON, 2005**) :

- L'enveloppe : représente environ 10% du poids total du grain,
- L'endosperme (amande) : représente environ 81-83% du poids total du grain,
- Le germe (embryon) : représente environ 2,5 à 3 % du poids total du grain.

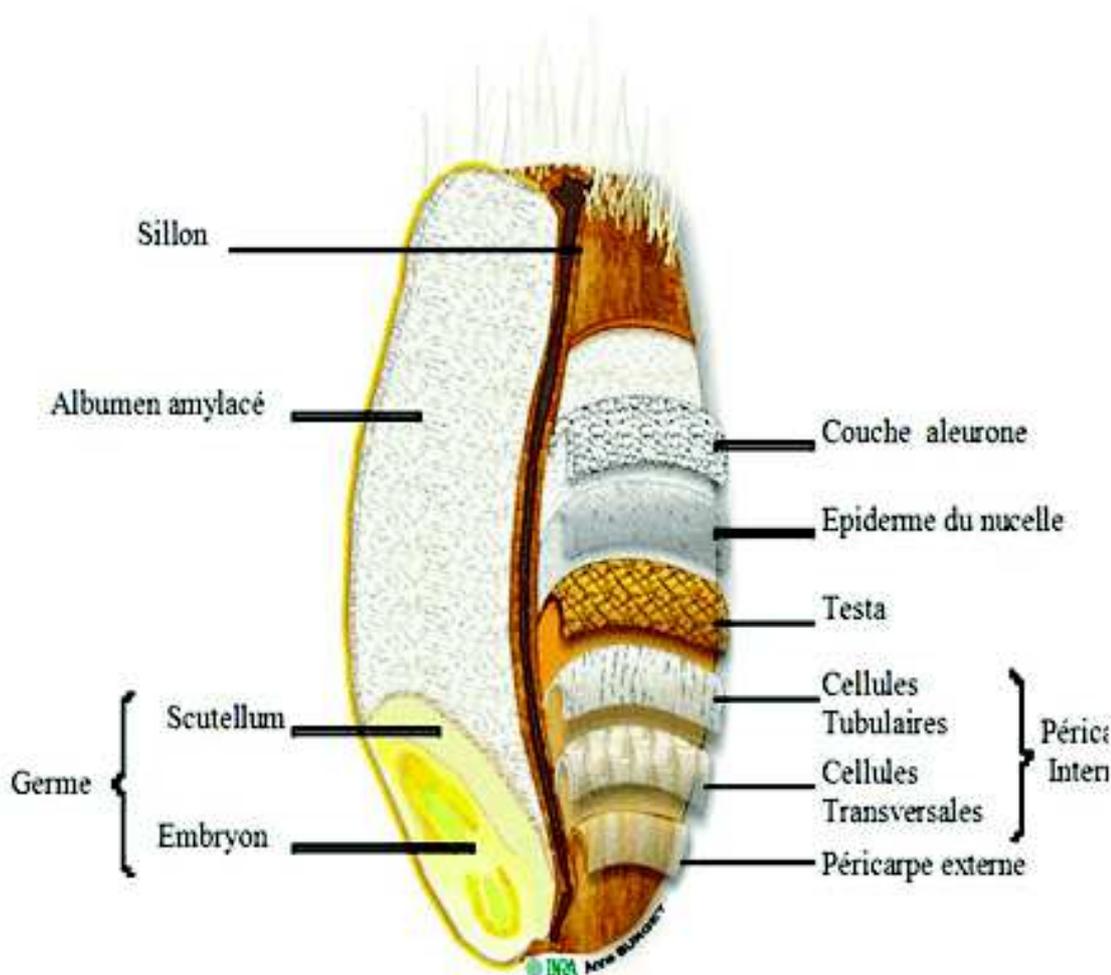


Figure 01 : Schéma d'un grain de blé en coupe longitudinale. (**SURGET et BARRON, 2005**)

I.2.2) Composition biochimique du grain de blé

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (dont la teneur varie selon les variétés et les conditions de culture) et des pentosanes. Les autres constituants, pondéralement mineurs, sont les lipides, la cellulose, les sucres simples ethanolosolubles, les minéraux et les vitamines. Le **Tableau 03** montre la composition biochimique du grain de blé tendre.

Tableau 03 : Composition biochimique du grain de blé (Limite habituelle de variation).

Nature des composants	Teneur (%) MS
Protéines	10-15
Amidon	67-71
Pentosanes	8-10
Cellulose	2-4
Sucres simple ethanolosolubles	2-3
Lipides	2-3
Matières minérales	1.5-2.5

Source : (FEILLET, 2000).

Les protéines du blé tendre toutes fractions confondues ont une teneur élevée en acides glutamiques principalement. Elles sont riches en proline et leucine et pauvres en lysine qui est le facteur limitant (**Tableau 04**).

Le gluten qui constitue l'essentiel des protéines est un composé amorphe combiné avec de l'amidon dans l'endosperme de la plupart des céréales. Il constitue environ 80% des protéines contenues dans le blé et se compose de Gliadines et de Gluténines. Le gluten est responsable de l'élasticité de la pâte malaxée ainsi que de la masticabilité des pâtes des produits à base de céréales cuits au four. C'est un composant essentiel dans la fabrication du pain et du biscuit. (**GODON, 1991**).

Tableau 04: Teneur en acides aminés du blé (en g pour 16 gramme d'azote).

Acides aminés	Blé
Acide aspartique	4.8
Thréonine	2.9
Sérine	4.7
Acide glutamique	29.2
Proline	9.8
Glycine	3.9
Alanine	3.7
Valine	4.9
Isoleucine	3.8
leucine	6.8
Tyrosine	3.1
Phénylalanine	4.7
Méthionine	1.5
Cystine	2.5
Lysine	2.8
Histidine	2.3
Arginine	4.7
Matières azotées en % de la MS	12.5

Source : (GODON, 1991).

1.2.3) Le germe de blé (Figure 01)

Le germe ne représente que 3 % du grain, il est enfermé dans une membrane protectrice l'épiblaste, il comprend l'embryon de la plante fille et le Scutellum (**GODON, 1991**) ;

(**BOURSON, 2009**). Son odeur est caractéristique, il présente une saveur sucrée et grasse. (**KIGER et KIGER, 1967**), avec un goût de noisette.

Les germes des céréales réunissent un nombre de substances biologiquement actives, indispensables à l'édification et la croissance de la plante, dans la texture naturelle. Du fait de leur teneur en huile et leurs fractions de substances actives oléosolubles, le germe de blé constitue une matière première précieuse. (**RICHTER** cité par **CHABAN et TERRACHE, 2000**).

Le germe dans son ensemble, est un produit riche en matière protéique (35 à 40 % de M.S), en matière grasse : 15 % et en matière minérale (5 à 6 % de M.S).

Il est également riche en vitamine du groupe B et en vitamine E, (**NURET, 1989**) ; (**BOURSON, 2009**).

I.3) Technologie de transformation des grains de blé tendre

I.3.1) Nettoyage et préparation

Le nettoyage a pour but d'enlever du blé tendre, toutes les impuretés qui y sont présentés (les corps étrangers et la poussière).

La préparation du blé à la mouture est une étape très importante, car elle permet d'humidifier le grain de blé en profondeur afin de rendre le son souple et l'amande friable, en vue de faciliter leur séparation (**BOUDREAU ET MENARD, 1993**).

I.3.2) La Mouture (Figure 02)

La mouture est une opération dont le rôle est d'extraire du grain de blé tendre le maximum de l'amande qu'il renferme, sans qu'elle soit contaminée par le germe et le son (**GODON, 1991** ; **SURGET et BARRON, 2005** ; **BOURSON, 2009**).

Les principales phases de mouture en meunerie de blé tendre, qui montrent à quels niveaux sont récupérés les sous produits, sont :

- Broyage.
- Blutage.
- Sassage.
- Convertissage et Claquage.

Chaque opération diffère de l'autre par des produits qui y sont récupérés pour aboutir en fin de compte à la farine qu'on peut classer en différents types en fonction de leur composition.

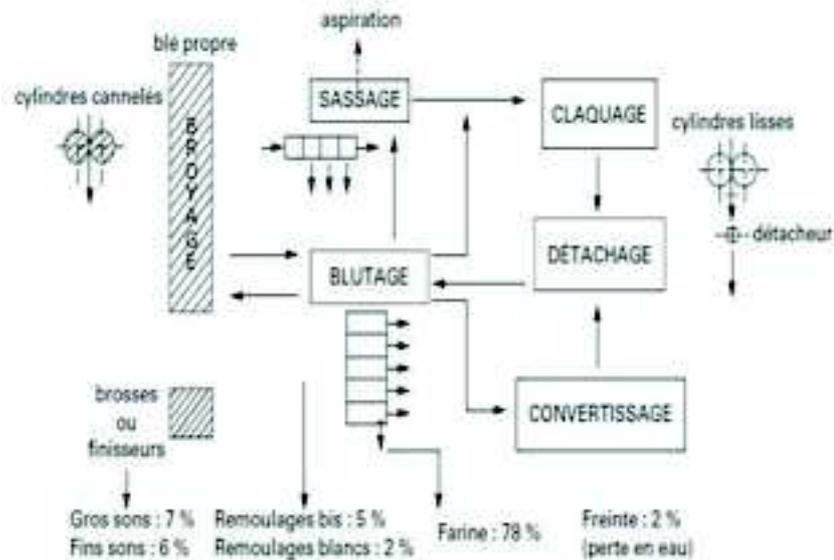


Figure 02 : Schéma général de la mouture de blé tendre (BOURSON, 2009).

I.4) Extraction et importance économique du germe de blé

Le germe de blé a la même forme et la même densité que les sons, sa taille est de 2 mm de longueur et de 0,5 mm de largeur (Fig. 03), pour l'extraire il faut donc plusieurs méthodes.

I.4.1) Extraction de germe en mouture du blé tendre

Le germe de blé, de part sa teneur en huile et sa consistance plastique est aplati lors de son passage entre les cylindres lisses. De nombreux moulins disposent d'équipements spécialisés permettant de séparer le germe du son et des remoulages (BOUDREAU ET MENARD, 1993)

Sans système approprié, on ne peut séparer qu'une petite proportion des germes dont la grosse partie s'en va dans le son et les remoulages, après avoir été refusé avec les gros produits de broyage (NURET, 1989).



Figure 03 : Description macroscopique de germe de blé (école national vétérinaire de Lyon France)

Une faible proportion de germe est brisée par les cylindres de broyage en particules suffisamment fines pour traverser les garnitures des appareils de blutage. Ce germe, qui se retrouve dans les semoules sassées, peut atteindre les cylindres lisses qui l'aplatissent, permettant ainsi de le séparer par blutage. Une quantité limitée de germe peut donc être recueillie par ce moyen.

Le taux d'extraction du germe dépend de plusieurs paramètres:

- Du Conditionnement.
- Des Appareils à cylindre: (nombres, inclinaison, épaisseur ...).
- Du Diagramme de mouture.
- Des caractéristiques physiques du blé.
- Des caractéristiques dimensionnelles du blé.
- Des appareils et des méthodes d'extraction utilisés.

1.4.1.1) Extraction sans sassage

C'est lors du déroulement du grain au premier broyeur et de la poursuite de travail au B₂ que se libère la plantule qui se détache facilement. Selon les blés utilisés les embryons se retrouvent dans la fraction (830-1250µm) **NURET (1989)**.

Selon **WILLM (2005a)** : dans les conditions ordinaires de mouture sans sassage nous ne récupérons guère qu'environ 0,3 % par rapport au blé, c'est –à-dire entre 15 et 20 % de l'embryon. Le restant se répartit entre fin son et remoulage bis (qui s'en trouvent valorisés).

Techniques de récupération (WILLM, 2005a):

D'ordinaire la récupération se fait en deux temps (**Figure 04**). Lors d'une première étape, les plantules mélangées aux grosses semoules et aux semoules vêtues sont laminées entre les cylindres lisses du C₁ serrés sans excès.

Ce premier laminage confère aux particules du germe très malléables une surface supérieure à celles des enveloppes séparées des semoules vêtues par l'effet de claquage. Il suffit alors de les retenir sur un tamis de 900 ou 1000 µm.

lors de la seconde étape, les germes laminés en compagnie de quelques particules d'enveloppes suffisamment larges pour être elle aussi retenues par le tamis de 900 ou 1000 μm , sont envoyés sur un « claqueur à germes », en l'occurrence un Cl_3 ou un Cl_4 , pour y subir un second laminage qui permettra de les séparer des fragments d'enveloppes qui ne sont pas malléables. Par le choix de l'ouverture de maille du tamis retenant les germes aplatis, on déterminera la qualité de ces derniers et aussi leur quantité.

Les plus beaux, les plus purs sont retenus sur des tamis de 1120, voire de 1400 μm . En choisissant 900 ou 1000 μm , ils seront moins « purs », mais plus nombreux

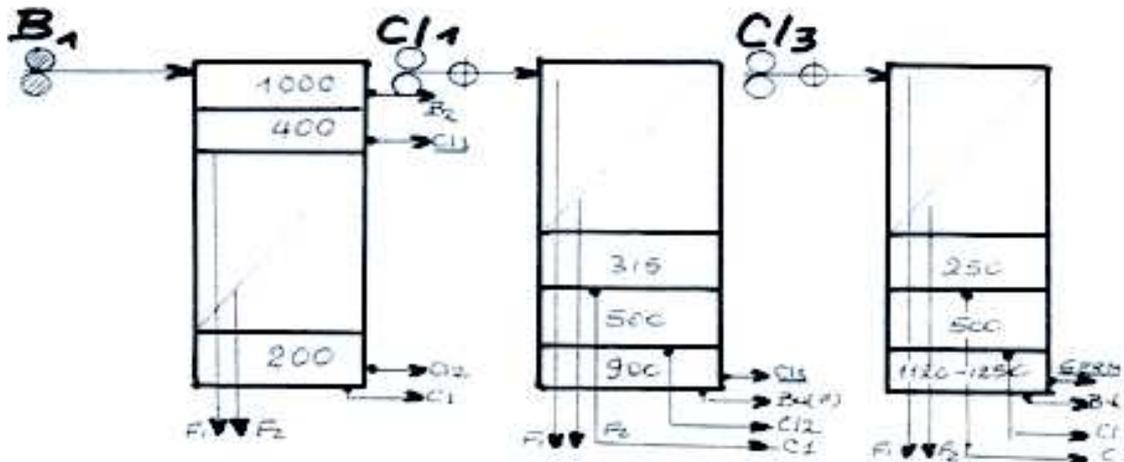


Figure04 : Extrait de diagramme. Production de germe sans sassage (WILLM, 2005a)

Action des détacheurs :

Les détacheurs sont utilisés pour détruire les plaquettes de farines et de fins gruaux. Si au Cl_1 et / ou claqueur à germes, le travail des détacheurs est par trop actif, il s'ensuit une réduction des plaquettes de germe.

En général, on s'oriente vers des détacheurs à tambour.

La récupération du Scutellum :

Selon (NURET, 1989) : Le Scutellum est difficilement détaché du son et en une grande partie concentré dans les fins sons et surtout à la fin de claquage et du convertissage. Le germe recueilli sous formes de plaquettes contiendrait 1/3 voire la moitié de la plantule et seulement 1/20 de Scutellum. Pour sa richesse en vitamine B1 on récupérera le maximum avec une attaque sur les deux premiers broyeurs cautérisée par 25 et 55% au travers d'un tamis n° 20, les extractions renferment 60 % de Scutellum, localisé surtout dans les grosses semoules (de 20 à 46%, soit 1120 à 450 μm). Le Scutellum est donc détaché en grande partie par les cannelures mais, plus fragile que la plantule, il se brise et n'est retenu qu'en faible pourcentage par les tamis lequel d'ordinaire est repris par le tamis n° 40 (500 μm) dont l'extraction continue son chemin vers les claqueurs suivants et pour la partie fine, vers le Cl_1 dont les refus (sur un n° 70 soit 290 μm) reviennent sur le Cl_3 tandis que le refus gagne en général le B_4 . Dans les deux cas, les fragments de Scutellum et de plantules se trouvent dans les produits des derniers claqueurs et de là, pour les plus fins (au dessous de 70 par exemple) sur les derniers convertisseurs. Ils aboutissent donc, finalement, dans les remoulages bis et blanc qui sont riche en vitamine B1.

La méthode **SIMON** cité par **CHABAN ET TERRACHE (2000)** cherche à recueillir la presque totalité avant qu'il n'atteigne le quatrième passage de broyage, les trois premières broyeurs ne brisent qu'une faible quantité de germe en laissant intacte la plus grande partie ; cependant, si le germe n'est pas extrait avant ce stade, la plus grande proportion sera alors brisée par les cylindres du quatrième broyeur ou il sera refusé par les planchisters et ira dans le son. En éliminant le germe non endommagé avant le quatrième broyeur et en employant des procédés appropriés pour extraire celui qui a déjà été brisé par les premiers broyeurs ,la quasi -totalité du germe est alors recueillie avant qu'il n'ait atteint les cylindres lisses et, par conséquent la farine ne se trouve pas contaminée .

I.4.1.2) Extraction avec sassage et autre procédés

Selon (**WILLM, 2005b**) avec le sassage, l'extraction est d'autant plus intéressante lorsque le blé travaillé est relativement sec. Nous pouvons ouvrir largement les tamis à refus des B1 et B2.

Le sasseur, où se combinent le mouvement de va et vient et l'effet de chasse qui favorisent le classement interne des produits selon la grosseur et la densité, le courant d'air ascendant dont la vitesse est progressive de la tête vers la queue de la machine et qui opère une répartition sur la base de la densité et de la forme des particules et de leur état de surface (**WILLM, 1999**), permet d'extraire les semoules pures , les plus fines d'abord, puis celles de plus en plus grosses et enfin les plantules un peu moins denses. Les semoules vêtues et les fins refus ainsi que les soufflures sont maintenues en surface des tamis par le courant d'air ascendant (**WILLM, 2005b**). Avec des sasseurs à tables superposées, nous pouvons encore parfaire le classement et multiplier les catégories de produits.

Un séparateur à germes (**Figure 05**) ou épurateur à semoules, par contre ne nous donnera que deux produits : le lourd et le léger. C'est-à-dire dans notre cas : un mélange de semoules pures, d'embryons, éventuellement de semoules vêtues destinées au C11 ou à un autre claqueur à germes et un mélange de fins refus, voire de semoules vêtues pour B4 ou, par prudence, pour B3.

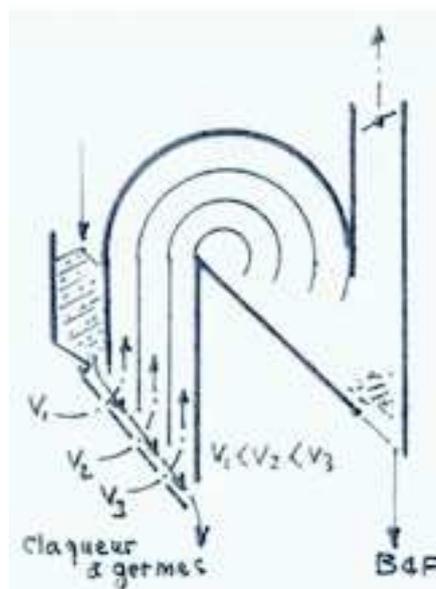


Figure 05 : Séparateur à germe (WILLM, 2005b).

Utilisation d'autres procédés d'après (WILLM, 2005b) :

-Utilisation d'un sasseur à grosses semoules (Figure 06):

Avec l'extrait de diagramme présenté, nous cherchons à illustrer le choix des tamis à refus aux B1 et B2 sans et avec sassage.

Nous ne présentons que les sasseurs S1, le sasseur à grosses semoules. La destination Cl2 peut surprendre. Nous voulons simplement indiquer que le sassage nous permet aussi d'intervenir sur la répartition des semoules entre les claqueurs de tête. Les plantules, extraites après les semoules, gagneront Cl1. le refus le plus léger, le moins chargé en amande, gagnera le B4, voir un B4 fin si le débit du moulin justifie son existence. Le refus destiné à B3 est le produit intermédiaire qui existe toujours au sassage. Il est constitué par des semoules vêtues. Il ne devrait contenir aucune bonne semoule.

Si nous ne disposons que d'une table unique, l'extraction de tête et les embryons iront au Cl1 ; l'extraction de queue (semoules vêtues) au B3 et le refus au B4. Ce dernier est à surveiller très régulièrement : il ne devra comporter aucune semoule vêtue.

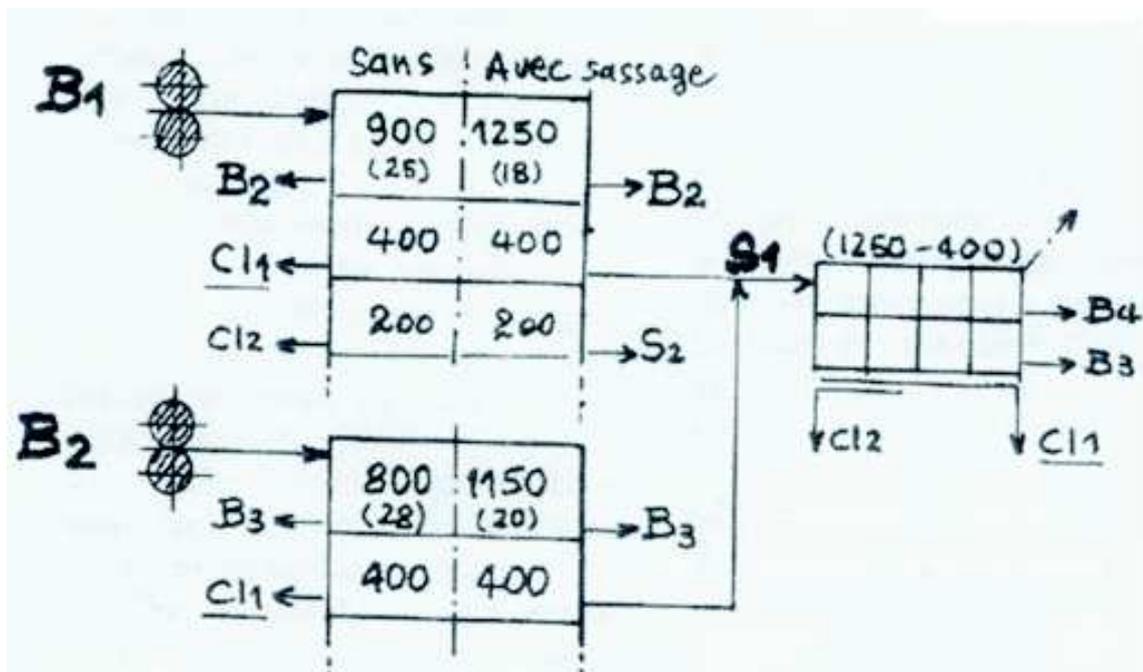


Figure 06 : Utilisation d'un sasseur à grosses semoules (WILLM, 2005b).

-Utilisation d'un sasseur à grosses semoules et d'un désagrégateur lisse (Figure 07):

Dès que le débit atteint une quinzaine de t/h, on peut envisager de créer un désagrégateur lisse (DS) suivi d'un détacheur à action modérée. Le produit obtenu sera composé par un mélange de plantules et de semoules vêtues extrait en queue du sasseur à grosses semoules et que l'on peut estimer à une dizaine de pour cent par rapport au blé. Un tel passage est assimilable à un Cl1 gros alimenté par un mélange de semoules vêtues relativement petites et d'embryons.

De même que la destination Cl2, les tamis de 400 µm d'ouverture de maille sont symboliques. La définition granulométrique des semoules alimentant ce sasseur S1 dépend en effet du nombre de divisions à opérer sur les semoules de B1 et de B2, lui-même fonction du moulin.

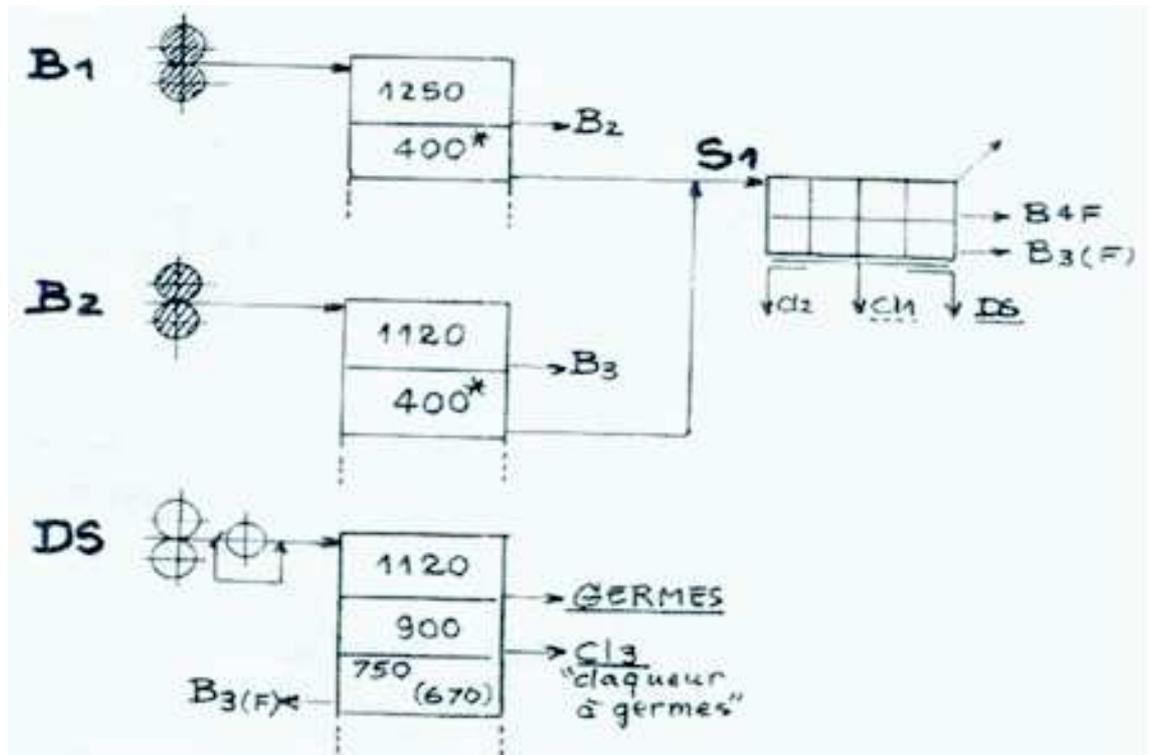


Figure 07 : Utilisation d'un sasseur à grosses semoules et d'un désagrégateur lisse (WILLM, 2005b).

-Utilisation d'un sasseur à grosses semoules et d'un désagrégateur cannelé (Figure 08):

Cette formule, tout comme la précédente, suppose un débit suffisant. Les cylindres d'un désagrégateur cannelé comportent normalement 10 à 11 cannelures au cm et travaillent tranchant /tranchant. Le rapport de vitesses des broyeurs est de (1/2.5) .l'objectif est de désagréger les semoules vêtues sans pour autant dilacérer les embryons, d'où un réglage modéré.

Pour récupérer les plantules deux versions sont possible la version (1) utilise un tamis de 900 µm et l'autre version (2) sur un tamis de (500 µm).

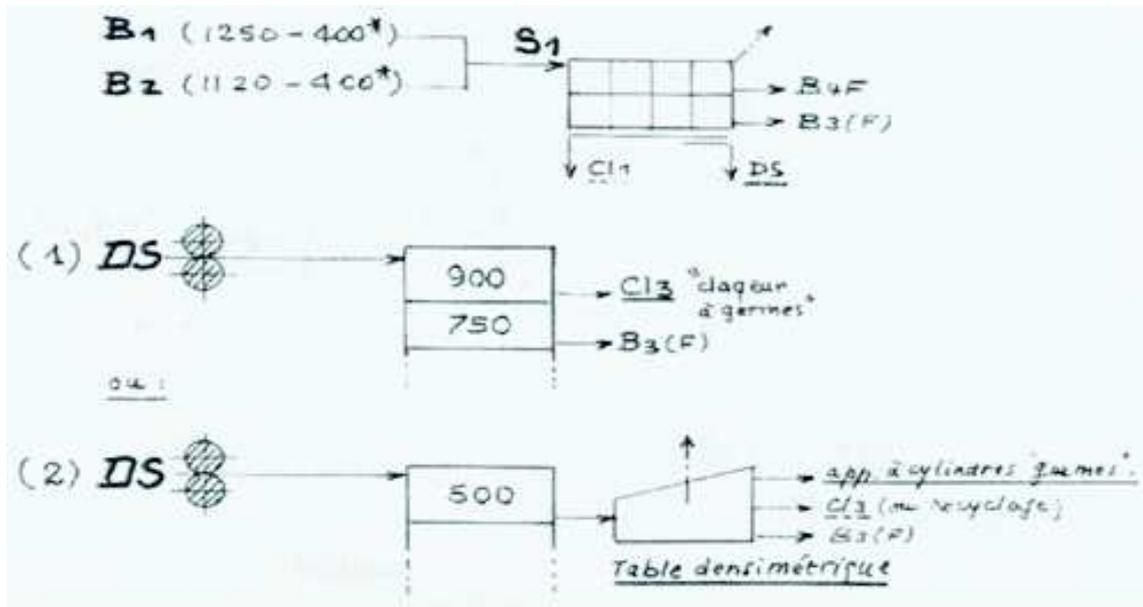


Figure 08 : Utilisation d'un sasseur à grosses semoules et d'un désagrégateur cannelé (WILLM, 2005b).

-Récupération de fragments de plantules au B₃ et utilisation de séparateurs à germes (Figure 09):

L'objectif est de récupérer des fragments de germes ayant atteint le B₃ par un canal ou un autre.

Ces plantules sont localisées dans la fraction (1100/1200-400 µm). Au B₃, le gros refus, supérieur à 1400 µm par exemple, gagne très normalement une brosse et de là le B_{4G}. Le fin refus (1400-670 µm) qui contient une partie des plantules alimente un premier séparateur à germes. La fraction légère est destinée à une autre brosse et de là au B_{4F}. La fraction plus lourde gagne le claqueur à germes (Cl₃). Cette version comporte le passage des semoules de B₃. La limite inférieure des semoules à sasser sur le S.B₃, matérialisée par un tamis 400*, est symbolique. L'ouverture de maille de ce tamis dépend du débit du moulin et permet d'ajuster la charge du sasseur.

Les fragments d'embryon inférieurs à l'ouverture de maille du tamis à refus (670 µm) sont récupérés dans l'extraction de queue du sasseur S.B₃ et gagnent très logiquement le claqueur à germes (Cl₃).

Tout comme dans le cas précédent, l'extraction de queue du sasseur à grosses semoules est destinée à un DS cannelé.

Le refus des tamis 800 µm est envoyé sur un second séparateur à germes. La fraction légère obtenue va au B₃ ou au pl. B₃, la fraction lourde, riche en fragments de plantules, alimente le Cl₃, de même que la fraction (800-670 µm) qui s'apparente à un fin refus.

Si, au Cl₃, on souhaite récupérer du germe exempt d'enveloppes, il est primordial d'éviter d'envoyer sur ce passage des produits susceptibles d'être retenus sur le tamis à germes choisi.

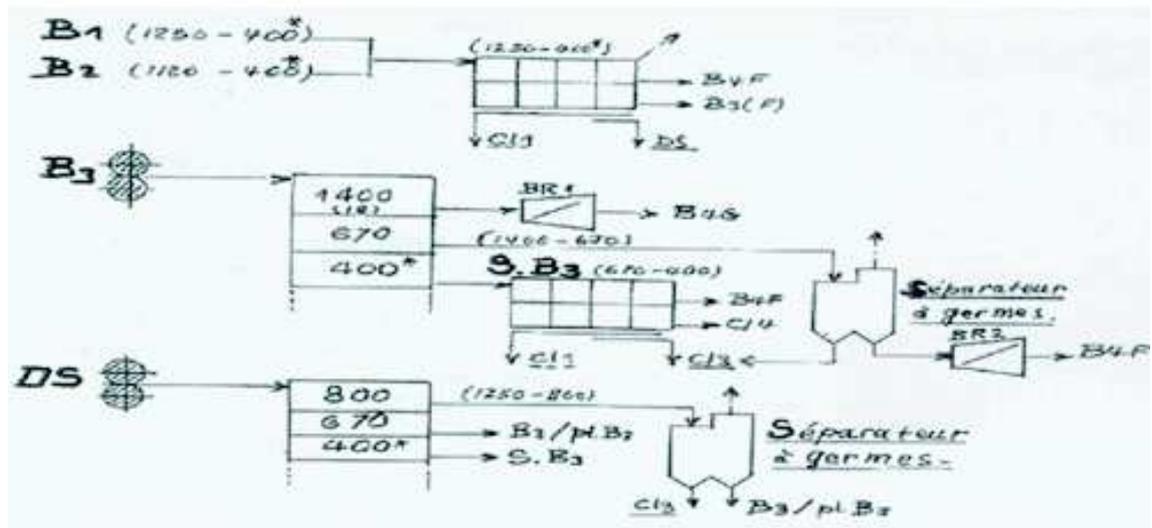


Figure 09 : Récupération de fragments de plantules au B₃ et utilisation de séparateurs à germes (WILLM, 2005b)

-Utilisation d'un fendeur ou d'un broyeur à broches (Figure 10):

Ces deux types d'équipement travaillent sur blé nettoyé et préparé à la mouture, c'est-à-dire qu'ils s'interposent entre le 2^e nettoyage et le premier broyeur.

Le fendeur est un appareil à cylindres à grosses cannelures, réglé de sorte à fendre le grain de blé au niveau du sillon. Cette opération, en vogue au début du siècle dernier, libère l'embryon, le Scutellum restant solidaire de l'une ou de l'autre moitié du grain. Elle libère également la poussière logée dans le sillon qui se mélange à la farine produite lors du « fendage », cette farine grise (environ 1%) appelée **Blaumehl** par les allemands est à éliminer. Sous l'effet d'un choc, le grain éclate et libère la plantule.

Dans les deux cas, les fragments de blé à 1250 µm environ sont envoyés au B1. La fraction (1250-500/1000 µm), où se concentre le germe, est traitée soit sur unasseur soit sur un séparateur à germes. Les plantules recueillies sont laminées sur une paire de cylindres lisses travaillant avec un rapport de vitesses de 1/1.

Suivant les exigences qualitatives, elles sont récupérées directement ou soumises à laminage supplémentaire destiné à améliorer la présentation, toutefois au détriment de la quantité.

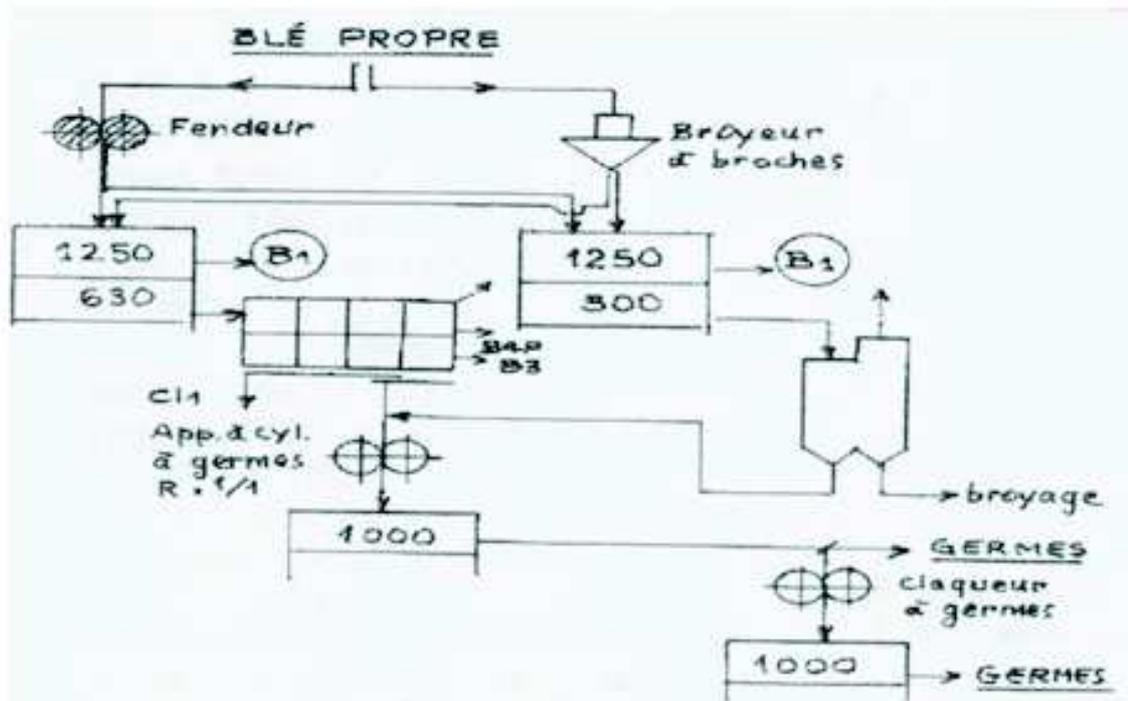


Figure 10: Utilisation d'un fendeur ou d'un broyeur à broches (WILLM, 2005b).

-Récupération des embryons au nettoyage :

Nous ne mentionnons cette possibilité que pour mémoire. La libération de l'embryon est due à des traitements violents qui ne se font pas sans dommages (bris de grain de blé qui réduiront le rendement sur le blé sale, fissuration de grains qui contribueront à rendre anarchique la prise d'eau lors du mouillage). De tels traitements sont imputables notamment à des épouanteuses travaillant dans des conditions anormales : surcharge, usure excessive des batteurs, mauvais réglages de l'écartement batteurs-manteaux, manteaux agressifs, etc. les plantules détachées sont recueillies en mélange avec des lambeaux d'épicarpe et de poussières de nettoyage, elles mêmes éventuellement contaminées par des résidus de pesticides. Finalement, elles sont impropres à la consommation.

1.4.2) Production et importance économique du germe de blé tendre

Les sous produits de meunerie (sons, germes, ...) occupent dans l'alimentation animale une importance toute particulière, et une grande proportion des issues commerciales est distribuée en l'état aux animaux.

Il est à remarquer que l'absence d'un appareil spécial séparant le germe du son et des remoulages fait qu'une partie se mélange à la farine et l'autre aux sous produits. La production mondiale de germe est estimée à 25 Millions de tonnes (FAOSTAT, 2008).

EnAlgérie, la production du blé a augmenté durant ces dernières années. Cependant, la séparation du germe de blé n'est pas pratiquée par la majorité des minoteries, même si ce sous produit (**germe**) est très demandé en alimentation humaine (supplémentation des différentes denrées alimentaires ; cake, pain, biscuit, aliments pour bébé) et surtout en diététique (extraction de l'huile, vitamines, colorant jaune,...), en pharmacie et en parapharmacie. Ces applications sont citées par plusieurs chercheurs: (POSNER et LI,

1991 ; KAPRANCHIKOV et al, 2004 ; LEENHARDT et al, 2006 ; SUDHA et al, 2007a,b ; SRIVASTAVA et al, 2007; ARSHAD et al, 2007).

Le germe, bien que sa production soit beaucoup plus faible que celle des autres sous produits, joue un rôle économique important, en particulier par sa valeur biologique. Il sera donc très souhaitable de récupérer ce sous produit en vue d'exploiter sa richesse en l'utilisant dans des différentes applications, sachant que ce co-produit est utilisé dans différent pays.

I.5) Composition biochimique du germe et sa valeur nutritionnelle

Le germe de blé est un produit à valeur biologique élevée, très riche en protéines, en matière grasse, ainsi qu'en vitamines, minéraux et en enzymes, par rapport aux autres parties du grain de blé. Il représente 3% du poids pondéral du grain.

La composition biochimique du germe de blé est représentée dans le **Tableau 05**.

Source : (BURE et GUINET, 1977 ; GODON et WILLM, 1991).

Sa composition biochimique varie en fonction de la technique d'extraction (**BASS, 1988**). Au laboratoire il est possible de recueillir le germe en tant que fraction anatomique du grain, de même que son annexe le Scutellum. Cette façon d'opérer aboutit à l'obtention du germe **pur** ; son analyse sert en quelque sorte de donnée de référence.

Au cours de la mouture du blé tendre par voie sèche, parmi les produits issus des premiers broyeurs, une fraction correspondant au germe peut être séparée de l'ensemble de la mouture. Il s'agit du germe **meunier**, qui présente des différences sensibles avec le produit expérimental en raison de la présence inévitable de fragments étrangers provenant des autres fractions du grain ; d'albumen, de couches sous-corticales et de péricarpe.

Dans le germe meunier, les spécificités biochimiques sont donc atténuées en raison de la présence d'éléments étrangers, ce qui se traduit par des différences d'ordre qualitatif et quantitatif. Le germe **pur** est, avant tout, une matière protidique et secondairement glucidique (**Tableau 06**). Une de ses particularités est de ne contenir pratiquement que des oses ou oligosides, hormis un faible pourcentage de cellulose brute correspondant aux glucides pariétaux.

Le germe pur offre un taux de lipides modeste (environ 15 %). A l'inverse, il contient une quantité importante de cendres totales et dont l'intérêt nutritionnel sera précisé plus loin.

Sur le plan énergétique, le germe de blé offre un potentiel de 400 Kcal/100 g, c'est-à-dire un peu plus élevé que celui de la farine blanche (330 Kcal). Dans le germe meunier outre les sucres simples du germe, ces glucides sont largement constitués de fibres «insolubles» (18,5 %).

Cette teneur découle de la proportion élevée de péricarpe et de couches sous corticales associés au germe issu de la meunerie.

Ces particules étrangères expliquent également les taux faibles en protéines (27 % au lieu de 39 %) et des lipides (9,5 % au lieu de 16,5 %).

I.5.1) Humidité

La teneur en eau est un facteur déterminant lors de la conservation. D'après **BARNES (1983)**, **AL KAHTANI (1989)**, et **FAVIER (1991)** le germe contient environ

$9 \pm 1,70$ g d'eau par 100g, alors que **ADRIAN et FRANGNE (1995)** et **NESSAH (1998)** ont trouvé des teneurs plus élevées soit ; 12.0 % et 13 % respectivement. (**SUDHA et al, 2007** ; **SRIVASTAVA et al, 2007**) rapportent 11,4% en teneur alors que **ADRIAN (2004)** ne trouve que 11,5 % (**Tableau 06**).

Les différences enregistrées sont essentiellement dues, à la condition de récupération, ainsi que le conditionnement du blé (préparation a la mouture).

Tableau 06 : Composition globale du germe de blé en g par 100 g.

	Germe de blé	
	Pur	Meunier
Eau	14	11.5
Protéines	39	26.5
Lipides	16.5	9.3
Glucides digestibles	22.5 (a)	23.5
Fibre insoluble	-	18.6
Fibre soluble	-	6.1
Cellulose brute	3.2	-
Minéraux	(4.8)	4.2
Valeur énergétique		
En Kcal	395	284
En kJoules	1625	1170

(a) exprimé en sucres (**ADRIAN, 2004**).

I.5.2) Composition minérale et vitaminique

Le germe de blé est fortement minéralisé, toutefois dans ce domaine il souffre d'un handicap du fait d'une forte accumulation d'acide phytique, lequel constitue une réserve de phosphore **Tableau N° 07**.

La teneur en cendre du germe de blé se situe dans un intervalle de 4 à 6% (**IBANOGLU, 2002** ; **ADRIAN, 2004** ; **BOURSON, 2009**). Ce qui est affirmé par les teneurs trouvées par **BARNES (1983)**, **AL KAHTANI (1989)**, et **NESSAH (1998)** avec respectivement : 4% ,5.09 % et 5.3 %, alors que pour **SRIVASTAVA et al., 2007** la teneur est de 3,3 à 4 %. **BAJAJ et al, 1991** : rapportent la plus petite teneur en cendre 1,59 %.

La composition en éléments minéraux du germe d'après ces auteurs est représentée dans les **Tableau N° 06, 07 et 08**, on constate que le germe est riche en phosphore, en potassium et en magnésium, moyennement riche en calcium, pauvre en zinc et en fer.

La variation dans les concentrations peut être due à la différence variétale et/ou à la contamination du germe par le son. (**AL KAHTANI, 1989**).

La situation est bien différente dans le domaine vitaminique malgré l'absence de vitamines A et D. les tocophérols sont très abondants.

La forme majoritaire étant la forme α , qui est totalement suffisant pour couvrir le besoin nutritionnel (**Tableau 07**).

Le niveau de l'ensemble des vitamines B à l'exception de la vitamine B12 rivalise avec celui des meilleures sources alimentaires, telles que la levure sèche et le foie.

D'une manière générale, elles se répartissent uniformément entre le germe et le Scutellum. Celui-ci se distingue cependant par une richesse extraordinaire en thiamine : 5 à 10g par jour couvriraient le besoin de l'homme adulte !

Deux autres points méritent d'être soulignés : la richesse du germe en pyridoxine (vitamine B6) et en acide folique (vitamine B9). Le corps médical fait classiquement appel à ces facteurs dans deux situations précises : la vitamine B6 est une arme efficace contre la spasmophilie, et une supplémentation en vitamine B9 est pratiquée couramment lors des grossesses. Il est aisé d'en déduire la place que le germe pourrait occuper en alimentation humaine (**ADRIAN, 2004**).

Tableau 07 : Caractéristiques minérales et vitaminiques de germe et son intérêt nutritionnel.

	Germe meunier mg / 100 g	Germe pur	Scutellum	% des besoins Couverts par la consommation 100 g de germe meunier (a)
Calcium	70	35-70	-	8
Magnésium	250	140-360	-	60
Fer	1.65	0.95	-	18
Phosphore total Dont : phytique	1 100 47 %	1 230 40 %	2 000 70 %	78 (c)
Phytase (b)	8	-	27.5	
Vitamine E totale Dont : α tocophérol β tocophérol	25-50 55 % 30 %	70 60 % 20 %	- - -	205
Vitamine B1	2.0	0.4-2.6	13.0-24.0	155
B2	0.7	-	1.3	44
B3	4.5	3.0-5.5	4.0	32
B6	3.3	-	2.5	185
B9	0.5	0.2	-	150

Source : (ADRIAN, 2004).

A) : d'après AFSSA (2001), données pour l'homme adulte ;

B) : exprimé en % μ g de P libéré par heure et par mg de substrat ;

C) : basé sur la fraction disponible, non phytique.

Tableau 08 : Composition du germe de blé en éléments minéraux.

Eléments minéraux (mg/100g) Auteurs	CA	P	K	NA	ZN	MG	FE
(1)	5,6	806	805	Traces	12,2	154	4,5
(2)	70	1200	850	5	-	260	10
(3)	71	1050	296	7,2	-	342	6,7

Source : AL-KAHTANI., 1989 (1) ; ADRIAN., 1995 (2) ; GUIERRE., 1967(3).

I.5.3) Fraction protéique

Le germe de blé est considéré comme la partie la plus riche en protéines comparé aux autres constituants du grain. Il renferme, en effet, approximativement 25 % à 40 % de protéines (IBANOGLU, 2002 ; ZHU et ZHOU, 2005 ; ARSHAD, 2007 ; SUDHA et al, 2007 ; BOURSON, 2009).

BARNES (1983) ; LUPANO et al , 1986 ont rapporté que le germe renferme une teneur en protéines de 26% cette valeur est comparable à celle trouvée par ADRIAN (1995) : 27 %, NASSAH (1998) ; KARWOWSKA et KOSTRZEW (1998) ; HETTIARACHCHY et al, 1996) quant à eux ont trouvé des valeurs supérieures : 40 % 35 %, 30 %, respectivement. Alors que BAJAJ (1991) ne rapporte que 20,48 %.

Deux grande familles ; les protéines globulaires (albumine et globuline) et le gluten (Gliadines et Gluténines) (ADRIAN, 2004), Selon ce même auteur ces protéines sont composées pour une large part d'albumines (30 %) et de globulines (19 %), ayant un très bon équilibre en acides aminés indispensables. Les Gluténines ne sont qu'à un taux insignifiant, alors que les Gliadines constituent 15% de l'ensemble. Il reste près du tiers des composés protidiques dont la nature est difficile à déterminer et dont la structure se rapproche de celles des Gliadines et des Gluténines.

L'ensemble aboutit à un équilibre satisfaisant en acides aminés puisque le plus grand déficit – en acides aminés soufrés – se situe à 40 % (Tableau 09) et que les déficits secondaires sont de l'ordre de 30 %.

Sa richesse correspond à des proportions harmonieuses de tous les acides aminés nobles. (HETTIARACHY et al, 1996).

Tableau 09 : Composition des protéines du germe de blé en acides aminés indispensables en g par 100 g de protéines et pourcentage de déficit par rapport aux protéines de l'œuf entier.

	Protéines	Déficit %
Arginine	6.95	-
Cystine	1.55	-
Histidine	2.9	-
Isoleucine	4.65	29
Leucine	7.2	14
Lysine	6.2	12
Méthionine	1.7	50
Phénylalanine	3.9	32
Thréonine	4.75	8
Tryptophane	1.1	27
Valine	5.1	28
Somme acides soufrés	3.25	42

Source : (ADRIAN, 2004).

Le germe de blé se classe donc parmi les produits qui apportent des protéines de bonne qualité, et se rapproche de celle des viandes.

La richesse en lysine mérite d'être aussi soulignée (Tableau 10) : Contrairement aux protéines des autres fractions céréalières, celles du germe ne sont pas déficientes en lysine aussi, le germe de blé est-il un facteur de correction azotée pour les dérivés céréaliers

entrant en alimentation humaine (farine blanche, semoules, gluten) : son introduction améliore inmanquablement la qualité azotée du produit.

Tableau 10 : composition des fractions céréalières du blé en lysine en g par 100g de protéines (N x 6.25) et pourcentage de déficit.

		Lysine	Déficit %
Référence	Œuf	7.05	0
Blé	Grain entier	2.8	60
	Farine blanche	2.1	70
	Gluten	1.55	78
	Son	4.15	41
	Germe	6.05	14

Source : (ADRIAN., 2004).

I.5.4) Fraction glucidique

Outre les polysides pariétaux la fraction glucidique du germe se compose presque exclusivement de di-et triholosides, accompagnés d'oses simples.

En analysant le germe pur, germe meunier et Scutellum, il est rapporté que le saccharose et le raffinose en sont les composants majeurs (**Tableau 11**). Ce sont même les seuls éléments décelables dans les produits expérimentaux. D'une manière générale, on considère que le saccharose représente près de 10 % du poids du germe ; cette proportion lui confère un goût agréable lors de la consommation. En revanche, la présence du raffinose offre peu d'intérêt, d'autant qu'il est susceptible de provoquer des flatulences lorsqu'il est métabolisé par des clostridia au cours du transit intestinal (**ADRIAN, 2004**).

La teneur en glucide totaux dans le germe varie dans l'intervalle de 16 % à 34 % d'après certains auteurs.

Le taux des glucides pour les variétés cultivées en Arabie Saoudite indiqué par **AL KAHTANI (1989)** est de 16,66% cependant, **KARWOWSKA et KOSTRZEW (1988)** ; **ANDRIAN (1995)** et **NESSAH (1998)** ont trouvé des valeurs plus élevées : 30%, 33,9% et 24,11% respectivement. Ces différence en teneur son liés a la contamination par l'endosperme et le son (**SUDHA et al, 2007**). Le germe est aussi riche en polysides (cellulose 3,3 %) et en pentosanes 8,2%.

Le **Tableau 12** montre la répartition des divers glucides dans les différentes parties du grain de blé.

Tableau 11 : composition du germe en oses et oligosides en g par 100 g M.S.

	Germe Meunier	Germe Pur	Scutellum
Oses et oligosides	16.8 6.3 9.7 0.8	21.9 12.0 9.9 -	18.4 11.4 7.0 -
Totaux Dont :			
saccharose			
raffinose			
fructose			

Source : (ADRIAN, 2004).

Source : (GEOFFROY, 1950) et (DANGOUMOU, 1960).

I.5.5) Les enzymes

Les enzymes sont des protéines spécialisées dans la catalyse des réactions biologiques. Leur action est extrêmement spécifique d'une part, à l'égard du type de réaction à effectuer (hydrolyse, réduction, oxydation) et d'autre part de la structure et de la géométrie des substances concernées (**ARNAUD, 1985**).

Les enzymes, se localisent en grande partie dans la couche périphérique et particulièrement dans la couche à aleurone et dans le germe. (**DRAPRON, 1969**).

Parmi les enzymes disponibles au niveau du germe on a surtout les lipoxygénases, lipases et les protéases (**TAYLOR, 1982 ; SJÖVALL et al, 2000 ; SUDHA et al, 2007 ; SRIVASTAVA et al, 2007 ; RIZZELLO et al, 2010**). La répartition des enzymes dans le germe de blé est représentée dans le **Tableau 13**.

Tableau 13 : Répartition des enzymes dans le germe de blé.

	GERME
β- amylase	(Scutellum) + +
α- amylase	+ +
Lipase	+ + +
Protéase	+ + +
Phytase	(Scutellum) +
Lipo-oxygénase	+ + +
Oxydase	+ + +
Estérase	+ +

Source : (NURET, 1991).

+ + + : Présence importante.

+ + : Présence notable.

+ : Présence.

I.5.6) Fraction lipidique

La teneur en lipides est élevée dans le germe (15 %), un peu plus faible (7-8%) dans les couches externes de la graine et elle est nettement plus faible dans tous les autres tissus dont l'endosperme (**GODON, 1991**).

La phase lipidique est particulièrement complexe (**Tableau 14**) : à côté des lipides apolaires (triacylglycérols), elle renferme 15 % de matières émulsifiantes sous forme de phospholipides et environ 5 % de matière insaponifiable, valeurs très supérieures à la composition des graines oléagineuses usuelles.

Tableau 14 : Caractéristiques lipidiques du germe meunier.

	g/100 g	% de la phase lipidique
Lipides bruts	10.75	100
Lipides apolaires	8.25	81
Phospholipides	1.55	14.5
Insaponifiable Dont : stérols + alcools tocophérols hydrocarbures	0.5 0.3 0.07 0.03	4.5

Source : (ADRIAN, 2004).

Selon **ADRIAN (2004)** : La consommation alimentaire de phospholipides – dans la mesure où ils ne sont pas oxydés favorise et renforce l'émulsion des matières grasses dans la lumière intestinale. Cette propriété est donc considérée comme un élément facilitant la digestibilité.

La nature de l'insaponifiable présente également des atouts favorables sur le plan nutritionnel. On trouve une quantité très élevée de vitamine E (tocophérols) : Composés anti-oxygène naturels des huiles. Malgré ces divers mécanismes protecteurs, les acides gras essentiels ne sont pas à l'abri d'un risque d'oxydation, même au sein du germe. L'insaponifiable du germe est composé pour environ 70 % de stérols végétaux dont les α , β , γ et δ sitostérols. Ces substances sont reconnues comme étant des inhibiteurs compétitifs de l'absorption intestinale du cholestérol et leur usage est encouragé à ce titre.

En ce qui concerne les lipides : ils sont fortement insaturés (80 % des acides gras totaux) et une grande partie constitue des acides gras essentiels (**ADRIAN, 2004 ; NOVAK, 2004**). L'huile de germe de blé se distingue de la plupart des huiles végétales par la présence simultanée et importante des deux principales familles (**Tableau 15**) :

- Acide linoléique (C 18 :2), dit n-6 ou w-6 ;
- Acide linoléique (C18 :3), dit n-3 ou w-3.

Il existe divers pigments flavonoïdes comme les acides féruliques et vanilliques, présents à l'état libre, ainsi que des glycoflavones qui sont au taux de 0.25 % du germe (**POMERANZ, 1988**) cité par **ADRIAN (2004)**.

L'huile de germe est aussi associée à une quantité exceptionnellement élevée de tocophérols. En résumé, la phase lipidique du germe de blé possède plusieurs caractéristiques pouvant retentir favorablement sur le plan nutritionnel :

- Les phospholipides et les stérols végétaux sont des atouts non négligeables
- L'apport simultané et en proportion optimum des acides gras essentiels n-6 et n-3 est une donnée très intéressante.

Tableau 15 : Composition en lipides et en acides gras essentiels du germe de blé

		Lipides g/100g	Acides gras (% des ac.gras totaux)	
			Linoléique 18 :2 (n-6)	Linoléique 18 :3 (n-3)
Germe	Pur	16	60	10
	Meunier	9.2	48	6.5

Source : (ADRIAN., 2004).

I.6) La densité nutritionnelle du germe

En guise de conclusion, nous ferons appel à la notion de densité nutritionnelle (**ADRIAN et al, 2003 ; ADRIAN, 2004**).

Au lieu de rapporter le contenu d'un produit à un poids (100g), il est plus judicieux de juger de sa valeur en se basant sur son niveau énergétique, par exemple 100 Kcal.

On obtient alors des valeurs qui traduisent sa densité nutritionnelle, c'est-à-dire ses spécificités nutritionnelles et la place qu'il doit occuper dans une alimentation équilibrée. Contrairement à une idée trop répandue, dans la plupart des régions et des pays, le besoin énergétique est couvert de façon satisfaisante. En revanche, ce sont les autres éléments indispensables qui peuvent faire défaut.

Aussi, à coté des éléments de base comme le pain ou d'autres produits céréaliers, est-il important de privilégier des produits qui pour un apport énergétique donné fournissent des nutriments (acides aminés, vitamines, etc.) en quantités importantes de manière à compléter efficacement les denrées de base. Cette approche aboutit à l'élaboration d'une alimentation rationnelle. A titre d'illustration, nous comparerons les places respectives de la farine blanche et du germe de blé (Tableau 16).

L'énergie contenue dans la farine (amidon) n'est pas associée à des concentrations appréciables d'autres nutriments indispensables, à l'exception des protéines. En conséquence, la farine blanche se révèle un aliment essentiellement énergétique.

A l'inverse – pour un même apport énergétique (100 Kcal) – le germe de blé fournit une grande variété de nutriments en quantités importantes : il est beaucoup mieux équilibré sur le plan nutritionnel et doit être considéré comme un correcteur nutritionnel des denrées telles que la farine blanche. C'est par une succession d'associations de ce type (farine/germe) qu'une alimentation devient complète et équilibrée.

Tableau 16 : Exemple de densité nutritionnelle : le germe de blé et la farine blanche apport pou 100 Kcal .

	Germe meunier (≈35 g)	Farine blanche (≈30 g)
Protéines (g)	9,3	3.1
Ac, linoléique (g)	≈1,5	< 0.15
Ac, linoléique (g)	≈ 0,2	< 0.03
Magnésium (mg) (a)	45	9
Vit. E (tocophérols) (mg)	≈ 13	< 0.9
Vit. B1 (thiamine) (mg)	0,7	0.05
Vit. B2 (riboflavine) (mg)	0,25	0.03
Vit. B3 (niacine) (mg)	1,6	0.5
Vit. B6 (pyridoxine) (mg)	1,1	0.1
Vit. B9 (ac.folique) (mg)	0,175	-

Source :(ADRIAN et al, 2003 ; ADRIAN, 2004).

(a) en admettant que la moitié soit sous forme de phytate indisponible

I.7) Utilisation industrielle du germe de blé et l'importance de la stabilisation

Lors de la séparation industrielle des germes de blé, sa structure se trouve altérée. Il s'ensuit une mise à découvert des substances actives, surtout des lipides, particulièrement riches en acides gras polyinsaturés. S'ils ne sont pas immédiatement stabilisés, ces lipides sont oxydés et dégradés par les enzymes lipolytiques du grain, se traduisant par un rancissement et une augmentation en acidité. Il s'avère nécessaire de stabiliser les germes de blé par une méthode appropriée aussitôt après le passage au moulin, afin de protéger leur richesse naturelle en substances biologiquement actives.

I.7.1) Les procédés de stabilisation du germe de blé

Les procédés traditionnellement utilisés sont les suivants :

-L'extraction des lipides :

L'extraction des lipides des germes de blé est réalisée à l'aide de solvants organiques, en général l'hexane. Ce procédé entraîne une perte complète de la fraction lipidique (vitamine E, acides gras polyinsaturés, lécithines, stérols,...).

Ce procédé est principalement utilisé aux Etats-Unis (YIQIANG et *al*, 2001 ; LEBET, 2004 ; ZHU et ZHOU, 2005 ; ARSHAD et *al*, 2007).

-Le séchage :

Les germes sont séchés en tambour à une température d'environ 100 °C. La diminution de la teneur en eau et l'inactivation partielle des enzymes permet une légère augmentation de la stabilité (LEBET, 2004). SUDHA et *al*, 2007 et SRIVASTAVA et *al*, 2007 préconise une température allant de 100 /130 °C pour 2-3h ou bien 200°C pour 8 à 12 min on peut également utiliser le four microonde à 750 W de puissance pendant 4 à 5 min ou a la puissance de 700 W a 110°C pendant 12 min à (PINARLI et *al*, 2004).

Pour YIQIANG et *al*, 2001 et ARSHAD et *al*, 2007 une température de 130 °C à 160°C pendants 20 à 25 min suffira largement pour détruire toute activité enzymatique.

-Le toasting ou traitement par I.R :

Les germes sont soumis à un rayonnement infrarouge qui permet l'inactivation des enzymes. L'intensité de l'ionisation est cependant relativement irrégulière menant à des variations de qualité du produit (LEBET, 2004).

-Le pressage à froid :

C'est le procédé le plus doux. Les germes frais sont pressés dans une presse à vis traditionnelle. Par l'énergie thermique provenant de l'énergie mécanique, les enzymes sont inactivés. En outre, la fraction lipidique particulièrement sensible (huile de surface) est éliminée. La surface est scellée et les substances actives sensibles sont ainsi protégées (LEBET, 2004).

-La déshydratation par utilisation de tambours rotatifs :

Le germe de blé est transformé en boue dans de l'eau dans un ration (1:3). Après un repos de 3 à 5 min un mixage et un passage sur deux tambours rotatifs de 15 cm de diamètre et 25 cm de long. Ces tambours chauffés à la vapeur entre 125 à 130°C sous une

pression de 3 à 5×10^5 Pa et tournant à une vitesse de 4 à 6 tour par minute permettent de déshydrater le germe et d'inhiber tout le système enzymatique (SRIVASTAVA et al, 2007 ; SUDHA et al, 2007).

-Séchage sur lit fluidisé :

Le germe de blé est séché sur un dessiccateur à lit fluidisé type (CFTRI, Mysore) à 240°C pendant 1min puis refroidi à la température ambiante et stocké dans des films en polypropylène (SRIVASTAVA et al, 2007 ; SUDHA et al, 2007).

I.7.2) Influence sur la durée de conservation

Dans une étude à long terme, les résultats montrent clairement que le procédé utilisé pour la stabilisation a une grande influence à la fois sur les propriétés sensorielles du produit et sur sa valeur nutritionnelle.

Les germes de blé non stabilisés ne conviennent que pour une utilisation immédiate. La qualité sensorielle est très rapidement affectée, il s'ensuit une saveur acide, rance et amère. Cette constatation est confirmée par les très hauts niveaux d'indice d'acidité atteints au bout d'un mois de stockage (LEBET, 2004).

Les méthodes de stabilisation ont augmenté la durée de conservation. Néanmoins, on reconnaît de nettes différences d'un procédé à l'autre.

I.8) Qualité technologique du blé tendre

La qualité technologique d'un blé tendre représente son aptitude à donner une plus ou moins grande quantité de farine de qualité bien définie dans des conditions de mouture fixées (valeur meunière) et de l'aptitude de la farine ainsi obtenue d'être valorisée soit en panification (valeur boulangère), en biscuiterie (valeur biscuitière)...

I.8.1) La valeur biscuitière

C'est l'aptitude d'une farine à être valorisée en biscuiterie, Elle doit s'adapter à des techniques de transformation aussi diverses pour la fabrication des biscuits.

La valeur biscuitière de type biscuit sec se caractérise principalement par une homogénéité des mesures dimensionnelles des biscuits, par une résistance à la rupture des biscuits suffisante et par une « machinabilité » correcte de la pâte.

Les conditions d'utilisation de la farine biscuitière par les professionnels de la biscuiterie conduisent donc à des attentes qualitatives diverses, qui vont dépendre de nombreux facteurs, comme la quantité et la qualité des protéines, état de l'amidon,....cette valeur technologique dépend principalement : des caractéristiques intrinsèques du blé (génotype et phénotype) ou de la farine, lesquelles sont liées à la composition biochimique et aux tests technologiques.

Elle peut être appréciée soit par un test direct (Test de cuisson par exemple), soit par des tests indirects (tests rhéologiques, analyses physico-chimiques : taux de protéines, taux de gluten, taux d'amidon endommagée,.....).

1.8.1.1) Méthodes directes d'appréciation de la valeur biscuitière

Sachant que la farine de blé est le constituant majoritaire des pâtes, la valeur biscuitière s'applique essentiellement à cet ingrédient même si les autres matières possèdent des caractéristiques qualitatives susceptibles d'influencer, plus ou moins, l'aptitude biscuitière d'une pâte.

Pour **FEILLET (1980)** il n'existe pas un meilleur moyen d'apprécier la qualité d'un lot de blé ou d'une farine que de le soumettre à une transformation identique à celle pour laquelle il est destiné.

Les essais biscuitiers relèvent de la même approche que les essais de panification. Le **test biscuitier** auquel il est fréquemment fait référence pour les biscuits secs est le test mis au point par le **C.T.U.C.** Il est utilisé pour évaluer l'aptitude à la biscuiterie d'une farine extraite d'une variété pure de blé (**GREBAUT, 1984 ; BENOUALID, 1987 ; THARRAULT, 1994 ; FEILLET, 2000 ; ROUSSEL, 2005**).

Ce test nécessite 1,3kg de farine minimum. La formule de la pâte est de type biscuits secs laminés découpés de type « goûter ». Le protocole utilise des paramètres spécifiques fixés par la méthode **C.T.U.C** pour permettre de prédire la valeur biscuitière. Il faut également que la pâte soit machinable et non collante. Ces mesures peuvent être complétées par la détermination de la consistance et de la rétractabilité de la pâte.

1.8.1.2) Méthodes indirectes d'appréciation de la valeur biscuitière

La farine étant la principale matière première des biscuits, on utilise celle provenant

de blés biscuitiers. Néanmoins les industriels rencontrent toujours beaucoup de difficultés à identifier les caractéristiques d'une farine adaptée à leur fabrication et à définir le cahier des charges d'un blé biscuitier.

Il est souvent nécessaire de pratiquer d'autres méthodes (indirectes) pour apprécier la valeur biscuitière. Cette dernière est liée directement à la variété de blé, à sa composition biochimique, à sa qualité technologique et à son comportement rhéologique et physico-chimique.

1.8.1.2.1) Déterminisme génétique de la valeur biscuitière

La valeur biscuitière est une caractéristique variétale. Il a été montré, par comparaisons de résultats de trois années successives, que le classement de 12 variétés pour leur aptitude à la biscuiterie de type goûter variait peu d'une année à l'autre (**C.T.U.C, 1983 ; GREBAUT, 1984**).

ROUSSEL (2005) rapporte le même résultat sur huit variétés biscuitières.

Une étude portant sur 11 variétés de blé tendre cultivées en 6 lieux différents a permis d'évaluer l'importance relative des effets environnementaux et génotypiques sur les paramètres caractérisant la qualité biscuitière (**BRANLARD et al , 1985**). Il a ainsi été révélé que :

- L'effet du génotype et de l'environnement est significatif sur l'aspect de surface et le volume du biscuit, et non significatif sur son poids. ;

- Aucune interaction entre le génotype et l'environnement et les caractéristiques du biscuit n'est signalée sauf pour son volume. Il ressort ainsi que le seul examen de la détection de la variété ne suffit pas pour connaître sa valeur biscuitière.

I.8.1.2.2) La qualité biscuitière en relation avec la dureté du grain et l'amidon endommagé

La dureté du blé, caractéristique essentiellement génétique, influence la friabilité des grains (**CHARUN et MOREL, 2001**). Dans des conditions de mouture identiques, les mesures de dureté (ou de texture) du grain peuvent être réalisées soit par une mesure de la réflectance dans le proche infrarouge de moutures de grains, soit par une mesure de la quantité d'amidon endommagé présente dans la farine ou par mesure de la distribution en taille des particules de farine.

Les conditions de mouture pour une même variété peuvent faire varier la quantité d'amidon endommagé et les profils granulométriques.

Ainsi, une augmentation de la teneur en amidon endommagé, par augmentation progressive de la pression à la mouture se traduit par une diminution de la taille moyenne des particules de farine avec pour conséquence une diminution du rapport poids sur épaisseur du « cookie » (**BRENNEIS, 1965**). L'utilisation de deux types de moulins différents (« ball milling » et « pin milling »), produisant des quantités d'amidon endommagé différentes pour la même granulométrie de farine permet à **GAINES et al (1988)** de conclure que la teneur en amidon endommagé de la farine est un paramètre plus explicatif des variations de taille du « cookie » que les variations de granulométrie des farines. Pour cet auteur, l'amidon endommagé des farines est la source des problèmes des industriels de la biscuiterie.

Si les conditions de mouture sont fixées, la dureté des grains broyés est corrélée positivement aux quantités d'amidon endommagé présentes dans les farines, et négativement à la taille moyenne des particules de farine. **YAMAMOTO et al (1996)** montrent, par une étude comparative des aptitudes à la biscuiterie de 17 variétés de blé tendre de type « soft », que les variations de la granulométrie des farines sont mieux corrélées aux variations de taille des « cookies » que la variable de teneur en amidon endommagé de la farine. Néanmoins, la teneur en amidon endommagé a été montrée négativement corrélée à l'étalement du « cookie », et l'explication de cette corrélation réside dans ses propriétés de rétention en eau (**ABBOUD et al, 1985a**).

Selon **DUBAT (2004)** L'endommagement de l'amidon a une influence notable sur les critères biscuitières (friabilité, dimension, densité, etc.) En général, les procédés biscuitiers requièrent des faibles taux d'amidon endommagés (notamment pour réduire la quantité d'eau non intimement liée lors de la cuisson).

I.8.1.2.3) Mesure de rétention en eau de la farine en milieu alcalin (A.W.R.C)

Il n'est pas concevable de parler de qualité biscuitière sans se référer à la mesure de rétention en eau de la farine en milieu alcalin ou, en anglais, « **Alkaline Water Retention Capacity** » (**A.W.R.C**). En effet, en 1953 **YAMAZAKI** observa une forte corrélation entre les caractéristiques d'hydratation de la pâte biscuitière et la qualité du « cookie ». Il développa une technique pour mesurer la capacité d'absorption d'eau de la farine en milieu alcalin (**A.W.R.C**), et il montra qu'il existe une très forte corrélation négative entre ce paramètre et l'étalement du « cookie ». Depuis, ce résultat a été confirmé de nombreux auteurs notamment (**ABBOUD et al, 1985a ; GAINES, 1990 ; NEMETH et al, 1994 ; LABUSCHAGNE et al, 1996**). Ce paramètre de mesure de rétention en eau est corrélé positivement à la quantité d'amidon endommagé (**ABBOUD et al, 1985a ; NEMETH et al, 1994**). Néanmoins, pour **NEMETH et al (1994)** la teneur en amidon endommagé présente une plus forte corrélation avec le diamètre du « cookie » que la mesure d'**A.W.R.C**. **YAMAMOTO et al, (1996)** n'ont pas pu mettre en évidence de corrélation significative entre

la mesure d'AWRC et la taille du biscuit. Ces derniers auteurs concluent que la mesure d'**A.W.R.C** est de moins en moins explicative de la qualité des "cookies" et ils émettent l'hypothèse que ce changement est dû à une évolution du matériel végétal et / ou des techniques.

I.8.1.2.4) Les protéines

Les protéines de la farine peuvent être séparées en plusieurs familles. Les études qui mettent en évidence des relations entre les protéines et la qualité biscuitière ne sont pas aussi nombreuses et spécifiques que pour la qualité boulangère. La valeur biscuitière est une caractéristique variétale en relation avec la qualité et la quantité des protéines.

a) Protéines totales :

L'importance de ce facteur est controversée. Cependant, la grande majorité des cahiers des charges de farines biscuitières imposent aux meuniers un pourcentage relativement faible en protéines (la limite supérieure se situant généralement au plus vers 10/11 % de protéines jusqu'à 12 % max selon **BIARNAIS, 1987**). Cette précaution s'avère particulièrement importante dans le cas des pâtes dures et semi dures car une augmentation de la teneur en protéines peut favoriser la formation d'un réseau de gluten plus dense conduisant à une pâte plus élastique, donc à l'origine d'une rétraction plus importante des pâtons après laminage et découpe ou lors de la cuisson (**WADE, 1988 ; GAINES, 1990 ; SOUZA et al, 1994 ; ECM, 1996 ; CHARUN et MOREL, 2001**). La teneur en protéines est négativement corrélée au diamètre des biscuits mais cette corrélation devient faible au sein du groupe des blés « soft » (**ABBOUD et al, 1985 b**).

b) Le gluten :

Pour les biscuits secs type « petit beurre » **CONTAMINE et al (1995)** ont montré que le réseau de gluten était peu développé dans la pâte et qu'il était nécessaire de ne pas trop le développer (en augmentant l'énergie fournie au pétrissage), sous peine de voir la pâte se rétracter. Ces résultats confirment qu'une pâte biscuitière type goûté doit être suffisamment souple et extensible pour permettre le laminage en bande de la pâte, mais qu'elle ne doit pas présenter de phénomène de rétraction. Le gluten doit donc être peu développé pour permettre à la pâte d'être cohésive sans être élastique.

Selon **KIGER et KIGER, 1967** pour les biscuits secs laminés à découpés ; la richesse en gluten de la farine peut être plus élevée pour la pâte rotative (7 à 9%).

Pour le gluten humide des farines biscuitières sa teneur est comprise entre 20 et 24% (**BOUDREAU ET MENARD, 1993**).

I.8.1.2.5) Les polysides

Les glucides sont incontestablement les composants majeurs de la farine, puisque l'amidon représente environ 80 % du poids de la farine.

a) L'amidon :

L'amidon est retrouvé dans la farine majoritairement sous forme d'amidon natif, néanmoins, une faible partie de l'amidon est dégradée à la mouture. Cet amidon endommagé à toutefois, des propriétés importantes car son pouvoir de rétention d'eau dans une pâte est beaucoup plus important que celui de l'amidon natif. À conditions de mouture identiques, la quantité d'amidon endommagé de la farine est proportionnelle à la dureté du grain. Seule une étude rapporte une corrélation hautement significative et positive entre la

quantité d'amylose de l'amidon et le diamètre du « cookie » **KALDY et al (1991)**. En réalité, peu de travaux ont été publiés sur le rôle de l'amidon et de ses constituants par rapport à la qualité biscuitière.

b) Les pentosanes :

Les pentosanes qui représentent que 1,5 à 2 % de la farine (**CHARUN et MOREL, 2001**), sont responsable de 23 % de l'eau absorbée par une pâte. Une étude sur 44 variétés de blé d'origine américaine montre que la quantité de pentosanes totaux n'est pas ou peu corrélée au diamètre du « cookie » (**ABBOUD et al, 1985a**).

KALDY et al (1991) ont analysé, à partir de 25 variétés de blé de type « soft », l'effet des pentosanes hydrosolubles, des pentosanes extractibles par enzyme (cellulase) et des pentosanes totaux sur le diamètre des « cookies ». Dans leur travail, les pentosanes hydrosolubles et extractibles par enzyme ont tendance à faire diminuer le diamètre des « cookies » (mais les résultats ne sont pas significatifs à 5 %) et ont un effet significatif et négatif sur le volume des « cakes ». Les pentosanes totaux ne paraissent pas influencer les propriétés des « cookies », par contre, ils sont corrélés négativement et significativement au volume des « cakes ».

I.8.1.2.6) Les lipides

Les lipides sont des constituants mineurs de la farine (environ 1,5 %) et peu de travaux relatent de leur rôle sur la qualité biscuitière.

COLE et al (1960) ; KISSEL et al (1971) ; CHUNG et POMERANZ (1981). Ont montré qu'une farine délipidée donnait des « cookies » plus petits en diamètre et que l'addition de la fraction de lipides (retirée au préalable) à la farine délipidée permettait un retour du « cookie » vers sa taille normale. Ils ont également montré que l'addition d'une fraction lipidique (lipides polaires et de lipides Apolaires), provenant d'une farine d'une variété de blé tendre notée A, à une farine délipidée provenant d'une variété notée B, permettait la réalisation de « cookie » identiques à ceux obtenus avec une farine normale de la variété B, ils concluent que les lipides sont indispensables à la réalisation de biscuit de taille correcte mais ne sont pas responsables des variations de réponse des variétés de blé tendre au test biscuitier. **YAMAZAKI et al (1979)** proposent alors d'améliorer l'étalement du « cookie » par addition de lipides extraits des sons.

I.8.1.2.7) Tests technologiques des farines biscuitières

Des tests technologiques, tels l'alvéographe, le farinographe, le mixographe et le pétrinex, ont été utilisés pour évaluer l'aptitude biscuitière de farine.

Deux études ont permis de montrer que la note globale de qualité du biscuit de type « goûter » était surtout influencée par la hauteur de courbe maximale relevée au pétrinex noté C1 (**BRANLARD et al, 1985 ; BENOUALID, 1987**) et la capacité d'absorption d'eau mesurée au farinographe (**BENOUALID, 1987**). Une corrélation significative est d'autre part notée entre la consistance C1 et la capacité d'absorption d'eau mesurée au farinographe (**BENOUALID, 1987**).

Une corrélation négative, entre la capacité d'absorption d'eau mesurée au farinographe et le diamètre du « cookie », a également été rapportée (**LABUSCHAGNE et al, 1996 ; YAMAMOTO et al, 1996**). Le temps de développement maximum de la pâte, mesuré au farinographe, a été corrélé négativement et fortement avec l'étalement du « cookie » (**NEMETH et al, 1994 ; LABUSCHAGNE et al, 1996**).

Globalement, une absorption d'eau corrigée faible est un indice favorable pour la valeur biscuitière (**KIGER et KIGER., 1967 ; BIARNAIS, 1987**). Selon **DOBRSZCZYK, 2004 ; CAUVAIN et YOUNG, 2007**. Cette absorption doit être comprise entre 50 et 54 %, alors que **KIGER et KIGER (1967)** tolère une absorption d'eau jusqu'à 67 %. Pour le temps de stabilité de la pâte un temps de 1 à 2 min est suffisant.

La farine biscuitière est une farine à faible force boulangère, elle doit être extensible et peu élastique car si la farine est trop forte, l'élasticité du gluten provoque un rétrécissement de la pâte après laminage et au four

Tableau N°17 et 18 ; selon (**DUBOIS, 1988a,b ; COLAS, 1991 ; ECM, 1996 ; FUSTIER, 2006 ; BOURSON, 2009**). Pour **KIGER et KIGER, 1967**, le gonflement (**G**) doit être inférieur à **24**.

Concernent l'**indice de chute de HAGBERG** il peut être bas jusqu'à **180 s** selon (**KIGER et KIGER, 1967 ; BIARNAIS, 1987**) si l'indice est trop élevé les biscuits prennent à la cuisson une teinte foncée, avec la formation de dextrines et de gommages sous l'action des α -amylases.

Pour l'**indice de Zeleny** d'après l'étude de **LEVYL et al, 2009** il doit être bas. Aucune norme n'a été fixée pour cet indice.

Tableau 17 : Caractéristiques alvéographiques moyenne des farines biscuitière.

Farine Biscuitière	Paramètres alvéographiques				
	W	P	L	P/L	G
	60-150	30-60	90-125	0,25-0,80	18-23,3

Source : **DUBOIS, 1988a,b ; COLAS, 1991 ; ECM, 1996 ; FUSTIER, 2006 ; BOURSON, 2009**.

Tableau 18 : Caractéristiques alvéographiques des farines biscuitière.

Farine Biscuitière	Paramètres alvéographiques			
	W	P	P/L	G
	120-150	50	0,40-0,50	22,5

Source : Norme **ISO 5530/4**.

PARTIE II : Matériels et méthodes analytiques

II.1) Matériel végétal

Notre matériel végétal est une farine de blé tendre commerciale à usage biscuitier et de germe de blé tendre. L'origine est un blé français Importé par l'**O.A.I.C.**

Les échantillons nous ont été fournis par l'unité de production d'oued tllat (wilaya Oran) **moulin HABOUR** en date du 21/06/2009. Le germe de blé a été récupéré au cours de la phase de claquage, précisément au niveau du claqueur N °03 après avoir subi un aplatissement. Il est extrait à ouverture des mailles de 3x1250 microns.

Le stockage des échantillons de laboratoire a été fait dans des bocaux en verre à une température de + 4 °c afin d'en préserver ses caractéristiques.

II.2) Préparation des échantillons

II.2.1) Farine de blé tendre

La farine de blé tendre est une farine commerciale du moulin HABOUR d'Oran avec un taux d'extraction de 75 %, préparé pour la biscuiterie (**LU DANONE ALGERIE**).

La farine a été conservée à + 4 C° et les prélèvements pour analyses ont été effectués au fur et à mesure des besoins.

II.2.2) Farine de germe de blé tendre

Le germe après récupération subit les opérations suivantes :

II.2.2.1) Stabilisation thermique

Après la récupération de germe de blé du moulin, sa durée de vie est très limitée à cause de sa richesse en lipides, de sa teneur en humidité (10,62%) et de sa richesse en enzymes. Le germe de blé pour être stabilisé subit un traitement thermique pour ramener son humidité à 5,58 % en moyenne et pour inhiber les enzymes de dégradation. Plusieurs travaux ont été réalisés sur les techniques de stabilisation :

(**KRINGS, 2000 ; LEBET, 2004 ; KEXUE, 2005 ; SRIVASTAVA et al , 2007 ; SUDHA et al, 2007a**).

Le protocole retenu est celui de (**ARSHAD, 2007**) : qui consiste à placer le germe dans un four ventilé à 130 °c, sous agitation pendant 20 minutes.

II.2.2.2) Broyage de germe de blé

Après séchage du germe de blé, Le broyage a été réalisé au laboratoire du moulin **HABOUR D'ORAN** dans un broyeur expérimental de type « **LABORATORY MLL120** » PERTEN instruments. Les farines obtenues ont été conservées à +4 C° et les prélèvements pour analyses ont été effectués au fur et à mesure des besoins.

II.2.3) Mélanges et taux d'incorporation

Les taux d'incorporation de la farine de germe ont été choisis comme suit

L'échantillon	La farine de blé tendre (%)	La farine de germe (%)
Témoin	100	00
F.G 1	99	01
F.G 2	98	02
F.G 3	97	03
F.G 4	96	04
F.G 5	95	05
F.G 6	94	06
F.G 7	93	07
F.G 8	92	08
F.G 9	91	09
F.G 10	90	10

F.G : Farine germe de blé (les chiffres de 1 à 10 le pourcentage de substitution en farine de germe de blé.

Les mélanges de farines ont été effectués dans un mélangeur-homogénéisateur pour farine type : **CHOPIN MR2L**, le temps retenu est de 15 minute.

II .3) Méthodes analytiques

II.3.1) Analyses biochimiques

II.3.1.1) Détermination de la teneur en eau

Elle à été réalisée selon la norme : **NA 1132/1990 (ISO 712)**.

La teneur en eau en % est donnée par la formule suivante :

$$\% \text{ H}_2\text{O} = \frac{M_0 - M_1}{M_2} \times 100$$

Ou :

M₀ : Masse, en gramme de la capsule vide + 5 g de produit.

M₁ : Masse, en gramme de la capsule vide + produit séché.

M₂ : prise d'essai

II.3.1.2) Détermination de la teneur en cendres (Norme ISO : 2171-1980)

C'est le résidu solide obtenu après incinération de 5 grammes de farine de blé tendre à 900° C jusqu'à combustion complète de la matière organique.

Le taux de cendres est déterminé par rapport à la matière sèche selon la formule suivante :

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

M₀ : masse de la prise d'essai (en gramme).

M₁ : masse du résidu (en gramme).

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

II.3.1.3) Détermination de la teneur en cellulose : (AFNOR, NFV 03-040, FEV.1997)

Le principe consiste, après broyage et dégraissage éventuel, en a traitement du produit à ébullition, par une solution d'acide sulfurique de concentration déterminée, puis séparation et lavage de l'insoluble. L'insoluble obtenu est repris par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration déterminée, après séparation, lavage, dessiccation, et pesée du résidu insoluble la perte de masse par incinération est déterminée.

Le taux de cellulose exprimé en pourcentage est donné par la formule suivante

$$\% \text{ cellulose} = \frac{P_1 - P_2}{M} \times 100$$

Ou :

P1 : poids du creuset après séchage.

P2 : poids du creuset après incinération.

M : prise d'essai.

II.3.1.4) Détermination de la teneur en protéines totales

L'azote total est dosé par la méthode **KJELDHAL (Norme NA 1158-1990, ISO1871)**, dont le principe consiste à minéraliser l'échantillon par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur. L'azote organique est ainsi transformé en azote ammoniacal, l'ammoniac est déplacé par la lessive de soude, l'azote est dosé après l'avoir piégé dans de l'acide borique en présence d'un indicateur coloré.

Le coefficient de conversion de l'azote en protéines retenu est de **5,7** pour la farine de blé (**BOURDET, 1976**).

Les résultats sont exprimés en pourcentage de protéines rapporté à la matière sèche.

II.3.1.5) Détermination de la teneur en lipides bruts (Norme AFNOR NF. VO3-713,1980)

L'extraction des lipides a été réalisée dans un appareil de type SOXHLET par l'éther de pétrole pendant 5 heures. Le taux des lipides dans la farine est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux des lipides (\%)} = \frac{P_f - P_i}{M} \times 100$$

Ou

Pf : poids du ballon contenant les lipides (en gramme)

Pi : poids initial (ballon vide) (en gramme)

M : prise d'essai

II.3.1.6) Détermination de la teneur en glucides éthano-solubles totaux

Les glucides extraits par un mélange d'éthanol- H₂O à 80% (V/V) sont purifiés par défécation aux sels de carrez et dosés par la méthode de **DUBOIS (1967)**.

II.3.2) Analyses Technologiques

II.3.2.1) La teneur en gluten

Le gluten du blé est la substance plasto-élastique composée principalement de Gliadines et de Gluténines. Il constitue l'armature de la pâte et lui communique sa force « **W** », c'est -à- dire ses qualités mécaniques.

Le dosage du gluten repose sur son insolubilité dans l'eau salée et sur ces propriétés de s'agglomérer lorsqu'on le malaxe sous un courant d'eau. Les autres constituants

(protéines solubles, amidon, etc. ...) sont éliminés et le gluten est récupéré manuellement ou automatiquement.

Principe :

L'extraction et la quantification du gluten est réalisées selon le protocole de (**MAUZE et al, 1972**).

À partir de 10 g de farine et 5 ml d'eau distillée contenant 2,5% de NaCl, et à l'aide d'une spatule un pâton est formé. Un pétrissage de 2 à 3 min du pâton entre les paumes des mains permet de compléter cette opération.

Après lixiviation et lavage, la masse obtenue est essorée et pesée ; cette masse est appelée (**gluten humide**). Après séchage à l'étuve à 130°C pendant 2 h la masse obtenue est dénommé ; (**gluten sec**).

La teneur en gluten sec sera exprimée en pourcentage de la matière sèche.

La capacité d'hydratation du gluten (%) :

Elle représente le pourcentage d'eau contenu dans le gluten humide, et se calcule comme suit :

$$(GH-GS / GH) \times 100$$

II.3.2.2) Test de sédimentation de ZELENY

Le test de sédimentation de ZELENY a été effectué selon la norme (**NA, 1184. 1994, ISO 5529**). Ce test n'exige pas d'extraction préalable ni de dosage chimique. Il constitue donc un moyen pratique permettant une mesure globale et directe de la qualité du gluten.

L'indice de sédimentation de ZELENY représente le volume, exprimé en ml, du dépôt formé après agitation d'une suspension de farine expérimentale de blé tendre dans une solution d'acide lactique 0,5N.

La hauteur du sédiment est liée aux propriétés du gonflement des protéines en milieu acide.

Cet indice offre la possibilité de différencier et de classer les blés en fonction de leur force selon l'échelle de notation suivante :

- Moins de 18 ml : force insuffisante.
- De 18 à 28 ml : bonne force boulangère.
- De 28 à 38 ml : très bonne force boulangère.
- Plus de 38 ml : blé améliorant.

II.3.2.3) Détermination de l'indice de chute de HAGBERG (Norme NA.1176-1994, ISO 3093)

Ce test permet de connaître l'activité amylasique qui intervient lors de la fermentation.

Il permet également de voir s'il s'agit d'un blé contenant un pourcentage de grain germés et renseigne le meunier sur la correction qu'il devra apporter sur la farine en apportant soit du malt ou des amylases fongiques.

Principe :

Il consiste en la gélatinisation de l'amidon rapide une en suspension aqueuse de farine (ou de mouture entière de céréales) dans un bain d'eau bouillante et en la mesure de la liquéfaction par l'alpha-amylase de l'empois d'amidon contenu dans l'échantillon, en mesurant le temps de que met un pénétromètre pour parcourir cette solution gélatinisée.

L'indice de chute IC : peut varier de 60 à 400 secondes, plus l'activité est élevée, plus le temps de chute est court.

L'activité amylasique en fonction du temps permet de classes les blés.

IC > 250 SecActivité insuffisante.

220 Sec ≤ IC < 250 SecBonne activité.

180 Sec ≤ IC < 220 SecAcceptable.

150 Sec ≤ IC < 180 SecDifficulté de mise en œuvre.

IC < 150 SecInutilisable.

II.3.2.4) Essai à Alvéographe CHOPIN (Norme ISO : 5530/4-1992)

L'alvéogramme CHOPIN permet de mesurer la force boulangère d'une farine par l'étude de la déformation d'un pâton sous la poussée d'une masse d'air constante.

Le disque de pâte résiste à la pression, se déforme, gonfle et forme une bulle plus ou moins grande selon son extensibilité.

L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe, appelée alvéogramme de Chopin (**figure 11**).

Les paramètres issus de cette courbe sont les suivant :

- **W** : Le travail de déformation (exprimé en 10^{-4} j. g⁻¹ de pâte). C'est le résultat le plus utilisé, il correspond à la surface délimitée par la courbe et l'axe de l'abscisse. Il chiffre **la force boulangère de la farine**.

- **P** : Ordonnée de pression maximale (exprimée en mm).c'est un indicateur de la résistance de la pâte à la déformation. Elle traduit **la ténacité de la pâte** .Du fait que les essais soient effectuées à hydratation constante, plus grande sera l'ordonnée maximale, plus il faudra ajouter d'eau pour obtenir une pâte de consistance déterminée.

- **L** : Abscisse à la rupture (exprimée en mm).Ce paramètre est proportionnel au volume de la bulle atteint juste avant sa rupture. L est généralement associé à **l'extensibilité de la pâte**.

- **G** : **Le gonflement** Cet indice exprime l'extensibilité (L) de la pâte. C'est un critère important de la qualité des blés et des farines (**GODON et WILLIM, 1991**).

- **P/L** : Rapport de configuration de la courbe. Ce rapport exprime l'équilibre des propriétés de ténacité et d'extensibilité.

L'essai alvéographique est intéressant pour classer les farines en fonction de leur force boulangère, de les couper si c'est nécessaire et de les orienter vers les spécialités adaptées : Biscuiterie, boulangerie, biscotterie, pâtisserie (**AIT ATMANE, 1992**).

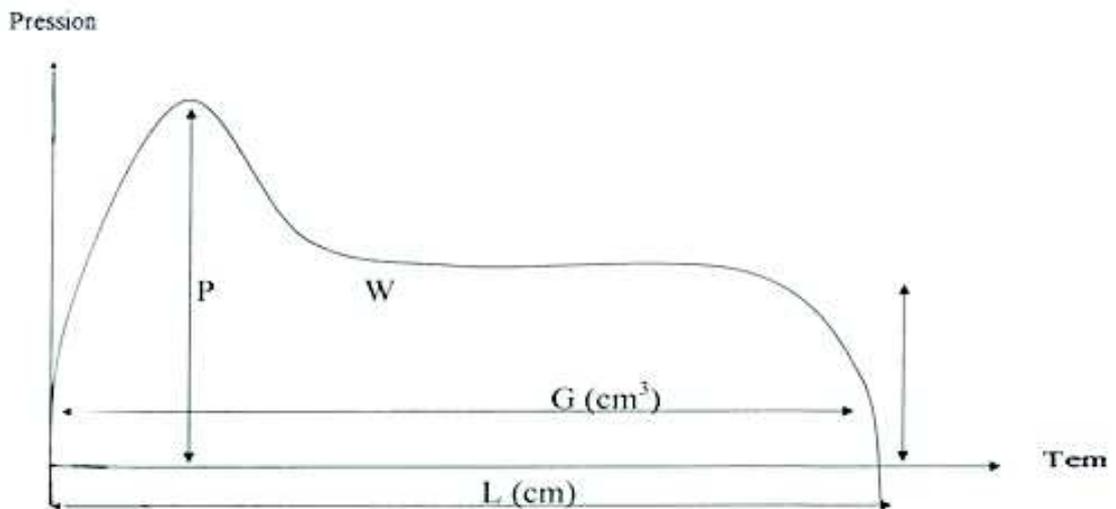


Figure 11 : Courbe typique obtenue avec un alvéographe de Chopin. (Alvéogramme) Godon, 1991.

II.3.2.5) Essai au Farinographe BRABENDER (Norme ICC 115/1-1992)

Le Farinographe Brabender permet de déterminer la quantité d'eau à ajouter (absorption) à une farine pour obtenir une certaine consistance de la pâte (500 UB par exemple) et son comportement au cours du pétrissage.

La (**figure 12**) montre l'allure typique d'un farinogramme. la hauteur du milieu de la bande est appelée consistance.

Le principal résultat de l'essai est :

-l'absorption d'eau (exprimée en %) : volume d'eau (ml) à ajouter à 100 g de farine à 14 % d'humidité pour atteindre une consistance maximale de 500UB.

En plus de l'absorption, diverses informations peuvent être tirées de la courbe, à savoir :

- Temps de développement (exprimé en min). C'est le temps écoulé depuis le début de l'addition d'eau jusqu'au point situé juste avant les premiers signes de décroissance de la courbe.
- Degré d'affaiblissement (exprimé en UB). C'est-à-dire la différence entre la consistance obtenue en fin de développement et la consistance après 12 minutes de pétrissage.
- Stabilité (exprimée en min). C'est le temps durant le quel la consistance demeure à son niveau maximal de 500UB.

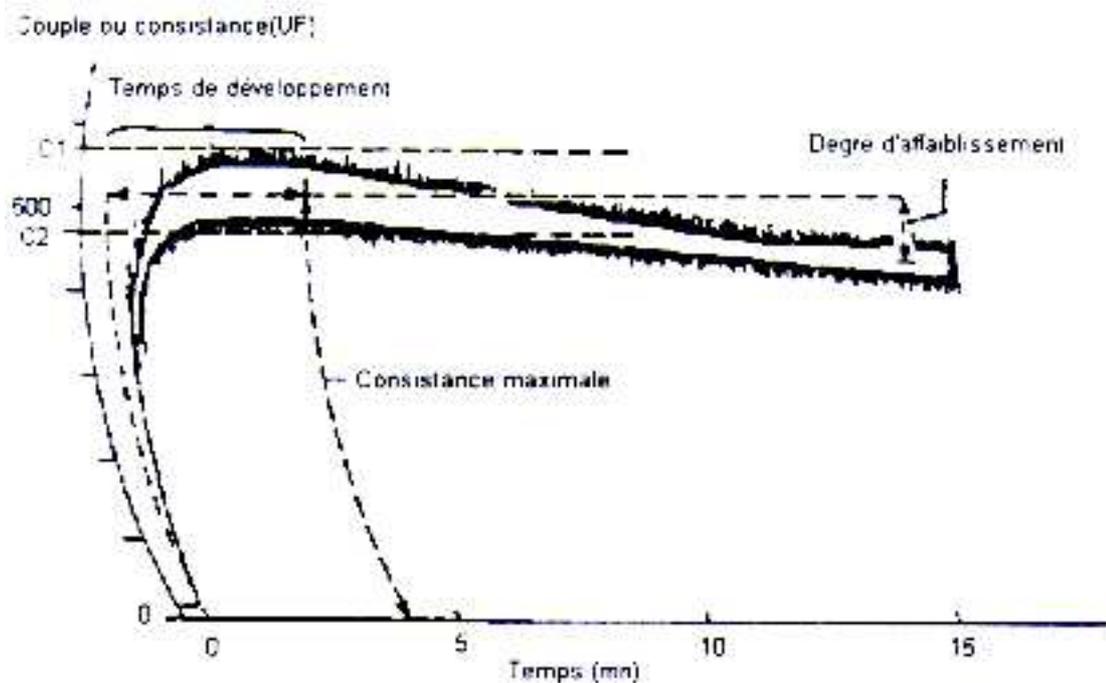


Figure 12 : Courbe typique obtenue avec le farinographe Brabender (Farinogramme) **LAUNAY et BARTOLUCCI, 1997**.

II.3.3) Tests de Cuisson

Notre test de cuisson a été réalisé au laboratoire : **CARIF S.A** création aromatique et régulateurs des industries des farines à Toulouse (France).

II.3.3.1) FABRICATION DES BISCUITS

Les biscuits sont des produits résultants d'un mélange de farine, sucre, matières grasses, poudre à lever, arômes, sel,...et d'eau. Selon les types de biscuits à préparer.

II.3.3.2) Formule de la fabrication des biscuits

Il existe plusieurs types de biscuits dont la teneur des ingrédients varie en fonction du biscuit produit (**Figure 13**).

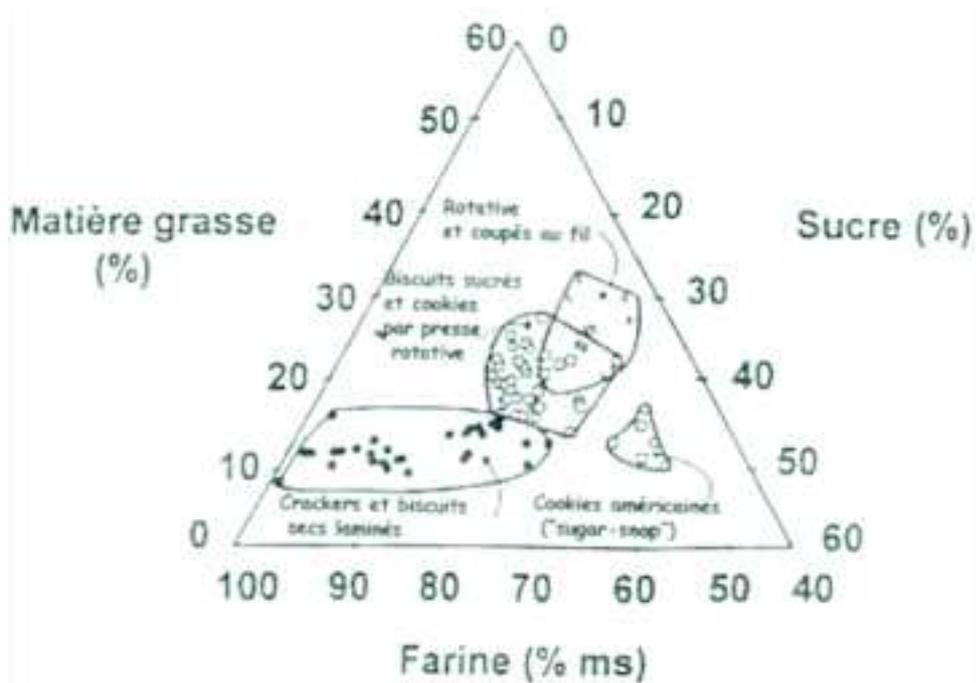


Figure 13 : Composition de différents biscuits en fonction des pourcentages relatifs de farine, sucre et matières grasses (WADE, 1988) .

Dans Notre cas nous avons procédé à la fabrication de biscuits témoins (T) type biscuit sec selon la formule établie par : (SUDHA et al, 2007b). Ces biscuits (T) sont fabriqués à base de farine de blé tendre. Les autres biscuits ont été préparés selon la même formule tout en incorporant a la farine de blé tendre de la farine de germe à des taux variables de 1 à 10 %, les autres ingrédients restant les mêmes.

Composition de la formule des biscuits :

Matière première	Taux d'incorporation en (g)
Farine	300
sucre	90
Graisse végétale	60
Sel (NaCl)	3
Bicarbonate de sodium	1,2
Bicarbonate d'ammonium	3
Dextrose monohydrate	6
Lait écrémé	6
Eau	56

a) Procédé de mélange des matières premières :

Le mélange a été réalisé selon la méthode indirecte dite de crémage qui comprend un certain nombre d'étapes : OLEWNIK et KULP, 1984 ; BAUDREU et MENARD, 1993 ; MRIDULA et al, 2007.

Première étape : Dans un pétrin type HOBART on Mélange les matières grasses avec le sucre à la vitesse 1 (61 tours par minute) pendant 3 minutes.

Deuxième étape : on fait Dissoudre le sel, le bicarbonate de sodium et d'ammonium dans l'eau qu'on ajoute à la préparation précédente et qu'on mixe pendant 5 à 6 minutes à la vitesse 2 (125 tours par minute) on obtient une crème homogène.

Troisième étape : On ajoute la farine et le lait au mélange crémeux et on mélange le tout pendant 3 minutes à la vitesse 1 (61 tours par minute).

b) Moulage des pâtes :

Cette opération est effectuée dans un laminoir mécanique, les biscuits en fin de moulage ont une épaisseur de 3,5 mm et un diamètre de 65 mm.

c) Conditions de cuisson :

La cuisson est une opération importante, car d'elle, dépend le goût et l'aspect des biscuits.

Le four utilisé est composé de quatre étages, à température indirecte et ventilé. La température du four est de 205 °C et le temps de cuisson est de 9 à 10 minutes.

d) Refroidissement et emballage :

A la sortie du four, les biscuits sont refroidis totalement à l'air libre pendant une durée de 15 minutes.

Les biscuits refroidis son emballés manuellement dans un film en polypropylène et étiquetés en fonction du taux d'incorporation du germe de blé.

II.3.3.3) Détermination des caractères physiques

Elle est effectuée selon des critères proposés par **(BENOUALID, 1987)** et **(SUDHA et al, 2007b)**. Qui sont :

- La Masse d'un pâton : exprimée en grammes.
- La Masse d'un biscuit : exprimée en grammes.
- Le Diamètre du biscuit : exprimée en cm.
- L'indice de développement de biscuit (I.D).
- L'étalement du biscuit en pourcentage (E.P).

II.3.3.4) Détermination des caractères Organoleptiques

Les caractéristiques organoleptiques déterminées sur les biscuits sont :

- A- la couleur de la croûte.
- B- la Forme.
- C- laDensité
- D- la Friabilité.
- E- la Texture
- F- l'Arôme
- G- la Saveur.

II.3.3.5) Modalités d'évaluation sensorielle et traitement statistique

Le consommateur désire des biscuits qui correspondent à son goût et qui lui procurent des satisfactions sensorielles et psychosensorielles.

Dans l'appréciation des différents caractères organoleptiques des biscuits, l'analyse sensorielle s'est faite sur la base d'un questionnaire, suivant la méthode décrite par (**SANCHEZ et al, 1983**). La méthode consiste à donner des points aux différentes caractéristiques physiques et organoleptiques de biscuits, le maximum des points recueillis est de 100.

Le maximum des points attribués pour chaque critère est comme suit :

√ Couleur de la croûte	: 10 pts.
√ Forme	: 10 pts.
√ Densité.....	: 20 pts.
√ Friabilité.....	: 20 pts.
√ Texture.....	: 10 pts.
√ Arôme.....	: 10 pts.
√ Saveur.....	: 20 pts.
<hr/>	
Somme	: 100 pts.

Cette notation est fonction de l'appréciation personnelle de celui qui juge ou apprécie, et les résultats obtenus ne peuvent pas être considérés comme absolus.

Le jury d'appréciation est composé de 14 personnes choisies au hasard du service R&D du laboratoire de contrôle de qualité de la société **CARIF S.A** créateurs aromatiques et régulateurs des industries des farines à Toulouse France.

Le traitement statistique comporte une comparaison des amplitudes observées pour des groupes de P moyennes des échantillons de chaque biscuit, qui sont disposés aléatoirement, le logiciel **S.P.S.S 17.0** servira pour l'analyse.

Le test de **NEWMAN et KEULS** servira pour classer le biscuit en fonction de chaque critère d'appréciation.

PARTIE III : Résultats et interprétations

III.1) Etude de la matière première

Les matières premières utilisés sont la farine de blé tendre à tendance biscuitière et celle de germe de blé

III.1.1) Caractéristiques biochimiques

Toutes les analyses sont effectuées sur des farines de germe de blé stabilisées, la farine biscuitière et les mélanges de farines de germe. Le **Tableaux 19**, **Figure14** en **Annexe 01**, représentent les résultats des analyses biochimiques du germe de blé et de la farine de blé à tendance biscuitière.

Tableau 19 : Composition biochimique de la farine et celle de germe de blé.

Composantes biochimiques	Type de farine	
	Farine de blé tendre (*)	Farine de germe de blé (*)
Humidité (%)	13,69	5,58
Cendres (% M.S)	0,67	2,66
Protéines (% M.S)	10,54	31,05
Lipides (% M.S)	0,98	10,08
Glucides (sucre éthano-solubles) (% M.S)	1,74	24,55
Cellulose (% M.S)	0,06	2,47

(*) : Moyenne de trois essais.

M.S : Matière sèche.

III.1.1.1) Teneur en eau

La détermination de la teneur en eau des farines révèle une importance capitale car elle permet ;

- De prévenir le comportement de la farine au cours d'une éventuelle conservation.
- De déterminer la quantité d'eau à ajouter au cours du process de transformation de la matière dans notre cas dans la fabrication du biscuit.
- De rapporter les résultats analytiques à une seule échelle afin de pouvoir dans le cas échéant faire des comparaisons.

En biscuiterie, cette teneur en eau est variable selon le type de produit. Pour la gaufrette, on utilise des suspensions pouvant atteindre jusqu'à 100 % d'hydratation. Dans le cas de certaines pâtes à biscuit faiblement hydratées, cette humidité peut entraîner des perturbations en fabrication, si elle n'est pas corrigée au cours du pétrissage (**GODON et WILLIM, 1991**).

Les résultats obtenus sont regroupés dans le **Tableau 19**.

L'état hygroscopique d'une farine varie essentiellement avec l'humidité de l'air, et la quantité d'eau ajoutée au blé avant la mouture (**GAUTIER, 1961**).

Une teneur en eau élevée peut entraîner une prolifération microbiennes et une activité enzymatique pouvant détériorer la valeur nutritionnelle et la qualité organoleptique du produit (lipolyse, protéolyse et synthèse d'aflatoxines).

La teneur en eau du germe de blé est de 10.62%, cette valeur est très proche de celles décrites par **BARNES (1983)** ; **AL KAHTANI (1989)** ; **SUDHA et al , (2007a)** ; **SRIVASTAVA et al , (2007)** et **FAVIER (1999)** qui rapportent des teneurs variant entre 9 et 11,4% , elle est par contre inférieure à celles citées par **ADRIAN et FRANGNE (1995)** ; **NESSAH (1998)** ; **CHABANE et TERRACHE (2000)** ; **ADRIAN (2004)** qui trouvent des valeurs comprises entre 11,5 et 13 %.

Pour la farine biscuitière étudiée la teneur en eau est de 13,69 %. Si on se réfère à **KIGER et KIGER (1967)** l'humidité normale d'une farine biscuitière de blé tendre se situe dans la fourchette de 12 à 16 %. Il ressort que dans notre cas l'humidité de la farine étudiée se situe bien dans cette fourchette.

La farine du germe de blé par contre n'atteint que 5,58 % d'humidité ceci est le résultat de traitement thermique de stabilisation dont le bute est d'éviter partiellement ou totalement une activité microbienne ou enzymatique (**ARSHAD et al, 2007**).

III.1.1.2) La teneur en cendres

Les cendres, sont les résidus de l'incinération de la farine. Leur teneur est un moyen d'appréciation de la pureté de la farine.

On considère une faible teneur en cendres d'une farine, comme un caractère de pureté. (**GODON, 1991**). Le taux de cendres dans certains cas est un indicateur de rendement en farine d'un blé.

Selon **BIARNAIS (1987)**, le taux de cendres des farines destinées à la biscuiterie varie entre 0,48 et 0,60 %. Les résultats répertoriés sur le Tableau 19 montrent que la farine biscuitière étudiée présente un taux en cendres de 0,67 % M.S. Elle se situe dans la fourchette rapportée (limite supérieur) par **BIARNAIS (1987)** ; celle du germe de blé (2,66 % M.S) est beaucoup plus importante que celle rapportée par **BAJAJ et al (1991)** : 1,59%. Elle se rapproche par contre de la valeur donnée par **SRIVASTAVA et al (2007)** : 3,3 %. Certains auteurs ont même rapportés des valeurs comprises entre 4 et 5 % : **BARNES (1982)** ; **PINARLI et al, 2004** ; **ZHU et ZHOU, 2005** ; **SUDHA et al, 2007a** ; **SRIVASTAVA et al, 2007**. Selon **GODON (1978)**, Cette variation dans la teneur en cendre peut s'expliquer par un certain nombre de facteurs tels que ;

- Le facteur génétique (richesse minérale du grain, la répartition minérale, la dureté et la grosseur du grain).

- Le facteur écologique : sols, climat, façons culturales, amendements, état physiologique et pathologique.

- Les facteurs technologiques (nettoyage, conditionnement, taux d'extraction, diagramme de mouture, traitement particuliers).

La méthode de récupération de germes peut être un facteur pouvant aussi faire varier la teneur en cendres.

III.1.1.3) Teneur en protéines

La fraction protéique des blés dans son aspect qualitatif et quantitatif est un élément déterminant dans la qualité boulangère et biscuitière des farines ainsi que dans la valeur alimentaire du produit fini (pain, biscuit).

Ces protéines, notamment, celles du gluten doivent présenter certaines propriétés rhéologiques indispensables en biscuiterie (extensibilité, ténacité, élasticité et viscosité).

Selon **FEILLET (1976)**, de nombreuses propriétés rhéologiques des pâtes sont dues d'une part à la fraction gliadine qui une fois hydratée devient extensible mais non élastique et d'autre part à la fraction Gluténines, ténace et élastique mais de faible extensibilité. La teneur en protéines est un caractère généralement transmissible, mais elle est fortement influencée par les conditions pédoclimatiques, la nature du fertilisant surtout la fumure azotée et le degré d'échaudage (**LOUDIN, 1998 ; LEVYL et al , 2009**).

A la lumière des résultats répertoriés sur le **Tableau 19**, nous remarquons que la farine de blé tendre utilisée présente une teneur en protéines de 10,54%M.S, alors que la farine de germe de blé atteint une valeur de 31,05 % M.S.

BIARNAIS (1987) a montré qu'une farine ayant un taux en protéines en dessous de 9% génère une pâte biscuitière difficilement machinable avec une mauvaise tenue en développement. Au delà de 12% la pâte biscuitière présente une très grande rétraction avec une longueur incontrôlable. Plusieurs auteurs (**GAINES, 1990 ; SOUZA et al , 1994 ; ECM, 1996 ; CHARUN et MOREL, 2001 ; FUSTIER, 2006**) ont montré que dans le cas d'une farine biscuitière le taux des protéines ne doit pas dépasser les 12 %.

Comparativement à ces résultats on peut dire que la farine de blé tendre étudiée a une teneur en protéines acceptable et peut être utilisée en biscuiterie. La teneur en protéines de la farine de germe de blé est en accord avec celles rapportées par

SIDHU, 1999 ; IBANOGLU, 2002 ; ARSHAD, 2007 ; SUDHA et al , 2007a; BOURSON, 2009). Elle est par contre supérieure à la teneur donnée par **BAJAJ (1991)** qui trouve une teneur de 20,48 % et **HETTIARACHCHY et al (1998)** qui donnent 30%. Elle est inférieure au taux trouvé par **NESSAH (1998) ; CHABANE et TERRACHE (2000)** : qui rapportent 40%, 34,5 % respectivement.

III.1.1.4) Teneur en lipides

La matière grasse du blé et des dérivés reste un facteur important dans l'altération des farines. Un stockage non contrôlé peut générer un ensemble de transformations physico-chimiques qui peuvent toucher à la valeur nutritionnelle et organoleptique des produits dérivés (**GAUTIER, 1961**).

Les teneurs en lipides de la farine de germe de blé et celle de la farine biscuitière de blé tendre sont regroupés dans le Tableau 19.

Les lipides du germe de blé sont hydrolysables, oxydables et diminuent la stabilité des farines à l'entreposage (**KISSEL et al, 1971 ; CHEFTEL H, 1979**). Pour palier à cette altération on a procédé à la stabilisation de la farine de germe de blé par la température : **YIQIANG et al, 2001 ; ARSHAD et al, 2007 ; SUDHA et al, 2007a ; SRIVASTAVA et al, 2007**.

L'importance des différentes classes de lipides dans la fabrication des biscuits a été soulignée par plusieurs auteurs, **COLE et al, (1960)** montrent que les biscuits produits à base de la farine délipidée, sont moins acceptables et présentent un diamètre réduit. Ces mêmes observations ont été également rapportées par **CHUNG et POMERANZ (1981)**. **YAMAZAKI**

et *al* (1979) qui proposent alors d'améliorer l'étalement du « cookie » par addition de lipides extraits des sons.

La farine de blé tendre utilisée dans notre cas présente une teneur assez faible en lipides de l'ordre de 0,98% M.S. Cette valeur est très proche de celle trouvée par ARSHAD et *al.*, 2007 qui rapportent 0,92 %.

Selon KIGER et KIGER (1967), FEILLET (2000), la teneur en lipides des farines commerciales ne doit pas excéder 2 %. Pour les farines de blé : CHUNG et *al.*, 1978 ; GENOT, 1984 ; SHEWRY et *al.*, 1997 ; rapportent des résultats de 1 à 2,01 %. Selon ces auteurs, la teneur en lipides totaux est fonction de la variété, du taux d'extraction de la farine et de la méthode analytique utilisée.

La farine de germe de blé s'avère très riche en matière grasse (10,08%M.S). Ces résultats sont proches de ceux cités par un certain nombre d'auteurs qui donnent des valeurs allant de 6,5 à 12% : NESSAH (1998) ; ADRIAN, 2004) ; ZHU et ZHOU, 2005 ; SRIVASTAVA et *al.*, 2007 ; SUDHA et *al.*, 2007a. En plus des facteurs cités auparavant et qui peuvent faire varier la teneur en lipides la méthode d'extraction du germe peut être en plus, un facteur pouvant expliquer ces variations.

III.1.1.5) Teneur en glucides (sucre éthanol-solubles)

Les glucides sont représentés essentiellement par de l'amidon (70 à 80 %), du sucres éthanosoluble (1 à 2%), de la cellulose (1 à 2%), et de pentosanes (1 à 2%). Leur teneur dans la farine est fonction du taux d'extraction essentiellement. Si l'amidon reste un composant essentiel qui rentre dans la structure du biscuit, les glucides éthanosolubles constituent le stock fermentescible nécessaire à l'activité des levures. Ils participent en plus aux réactions de brunissement non enzymatique caractérisant la couleur des biscuits. Les teneurs en glucides éthanosolubles des matières premières utilisées sont représentées dans le **tableau 19**.

La teneur en glucides éthanosolubles est de l'ordre de 1,74% M.S et 24,55% M.S respectivement pour la farine de blé et celle du germe de blé.

Selon **CUNING et al** , 1977 ; **FEILLET, 2000** le taux d'oses et oligosides pour une farine biscuitière ne doit pas dépasser les 2,5 %. La teneur obtenue dans notre cas se situe bien en dessous de cette limite.

La teneur en glucides de la farine de germe de blé étudiée est de 24,55% M.S. Cette valeur n'est pas très éloignée de celle rapportée par un certain nombre d'auteurs, dont les teneurs obtenues oscillent entre 15 et 33%. **KARWOWSKA et KOSTRZEW (1988) ; AL-KAHTANI (1989) ; IBANOGLU (2002) ; ADRIAN (2004) ; ZHU et ZHOU (2005)**.

Ces variations dans les quantités en sucres éthanosolubles peuvent être dues à la variété, au taux et à la méthode d'extraction du germe ainsi que des conditions d'entreposage du grain.

III.1.1.6) Teneur cellulose

La cellulose, cette fibre alimentaire qui est incontestablement la composante mineure de la farine, représente environ 0,5 % de son poids. Sa structure linéaire (homopolymère), fibrillante et partiellement cristalline, résistant à l'hydrolyse représente 40% de la masse du péricarpe (où se trouvent 90% de cellulose totale du grain (**FEILLET, 2000**).

Selon BLANCHARD *et al.*, 1988 ;SEYER., 2005, cette structure lui confère un certain nombre de propriétés fonctionnelles: Elle peut être utilisée comme agent :

- Anti-agglomérant,
- Émulsifiant,
- Stabilisant,
- de dispersion,
- Épaississant,
- gélifiant, et surtout agent ayant un pouvoir d'absorption en eau élevée. En effet la cellulose peut absorber jusqu'à 11 fois son poids en eau.

Le **tableau 19** représente les résultats de la teneur en cellulose des farines. La teneur en cellulose de la farine de blé utilisée et de celle de germe est de 0,06%M.S et 2,47% M.S respectivement.

La teneur de cellulose de farine de germe de blé s'avère être très proche de la valeur trouvé par **CHABANE et TERRACHE (2000)**. L'absence d'une limite pour un taux en cellulose appliqué à une farine biscuitière nous laisse supposer que c'est plutôt la somme de la cellulose et hémicelluloses qui est retenue. Plusieurs auteurs rapportent dans ces cas des teneurs entre 8 à 10% **IBANOGLU, 2002 ; ZHU et ZHOU, 2005**.

III.1.2) Les caractéristiques technologiques

III.1.2.1) Alvéographe de Chopin

Le test à l'alvéographe de Chopin reste très apprécié par les professionnels de la seconde transformation, du fait qu'il rende compte par le biais des différents paramètres mesurés, de l'aptitude d'une farine à être travaillée en fonction de sa force pour une finalité précise. Plusieurs auteurs (**DUBOIS, 1988a,b ; COLAS, 1991 ; ECM, 1996 ; FEILLET, 2000 ; BOURSON, 2009**) s'accordent à dire que les paramètres pour farine biscuitière doivent correspondre à : un « W » comprise entre 60 et 150.10⁻⁴J, un gonflement « G » inférieur à 24 cm³, un « P » de 30 à 60 mm H₂O, et un « L » de 90 à 125 mm, et un rapport de configuration « P/L » entre 0,25 et 0,80.

Ces paramètres mesurés varient en fonction ; des caractéristiques biochimiques des farines, des critères agronomiques et génétiques (RENARD et THERY, 1998).

Les caractéristiques des alvéogrammes pour les farines utilisées sont illustrées par les Annexe 02, et représentés dans le Tableau 20.

Tableaux 20: Les caractéristiques alvéographiques des différentes farines.

	W (10 ⁻⁴ J)	P (mm H ₂ O)	L (mm)	P/L	G (cm ³)
Farine de blé	163	57	85	0,67	20,6
farine de germe de blé	131	154	18	8,56	9,4

L'analyse des résultats obtenus montrent que dans le cas de la farine de blé tendre le « W » obtenu n'est pas très éloigné de la limite requise pour une farine biscuitière, bien que certains auteurs tels que **BIARNAIS, 1987** tolèrent un « W » de 200.10⁻⁴ J pour la biscuiterie. Les autres paramètres (P, G, L, P/L) de la farine s'insèrent bien dans la fourchette

établie pour les farines biscuitières. Le « **W** » est en relation avec les qualités plastiques de la pâte et reste un indice essentiel de la valeur biscuitière d'une farine. Mais il reste insuffisant pour classer une farine. Les autres caractéristiques avec la qualité et la quantité du gluten sont aussi à explorer pour statuer sur la force des farines.

La farine de germe de blé par contre présente sauf pour le rapport de configuration **P/L** les caractéristiques d'une farine biscuitière.

III.1.2.2) Farinographe de Brabender

Le farinographe de Brabender comme le mixographe permet de suivre le comportement d'une pâte au cours d'un pétrissage intensif jusqu'à une consistance de 500 U.B. Ce test permet de faire ressortir les conditions optimales du travail de cette consistance déterminée. Il permet de faire ressortir, sa capacité d'absorption en eau, son temps de développement, sa consistance maximale et son degré d'affaiblissement.

Il reste avec les caractéristiques mesurées à l'alvéographe ou l'extensigraphe un test qui permet de cerner toutes les caractéristiques plastiques et rhéologiques d'une pâte et de la travailler dans des conditions idéales.

Les résultats de farinographe répertoriés sur le **tableau 21** et illustrés par l'**annexe 03**.

Tableaux 21 : Les caractéristiques farinographiques des différentes farines.

	Absorption d'eau (%)	Temps de développement de la pâte (min)	Stabilité de la pâte (min)	Af de la pâte après 12 min (UB)
farine de blé	55,3	1,4	2,1	96
farine de germe de blé	69,1	3,4	2,1	207

L'examen des résultats du farinographe, montre que le taux d'hydratation de la farine de blé testé, est très proche de la valeur recherchée pour une farine biscuitière (54%), et donc reste acceptable pour la fabrication des biscuits. **KIGER et KIGER (1967)** tolèrent même une absorption d'eau jusqu'à 67 %. Le temps de stabilité recherché pour une farine biscuitière se situe entre 1 et 2 min. Comparativement à ces normes notre farine se situe à la limite supérieure rapportée.

Pour la farine de germe de blé, les caractéristiques mesurées sont hors normes sauf pour la stabilité de la pâte. Son taux d'hydratation très élevée est dû essentiellement aux taux de protéines, d'amidon, de pentosanes et de cellulose.

Selon **SRIVASTAVA et al (2007)**, le degré de gélatinisation de l'amidon suite au traitement thermique de stabilisation appliqué, reste un paramètre important dans l'évolution de la capacité d'absorption en eau. .

III.1.2.3) Teneur en gluten

Sur le plan technologique le gluten détermine en grande partie les caractéristiques rhéologiques de la farine. Le gluten est le complexe protéique le plus important ; il comprend les sous fractions protéiques insolubles ou partiellement solubles dans les alcools et les acides organiques ; en grande partie les Gliadines (α , β , γ) et Gluténines (à faible et à haut poids moléculaire), confèrent à la pâte ses qualités plastiques. D'autres substances non azotées peuvent être associées au gluten, il s'agit essentiellement de résidus de polysaccharides (amidon, pentosanes, cellulose), de matières minérales et de lipides liés.

Plusieurs auteurs ont souligné que la composition du gluten est un facteur déterminant dans la force d'une farine. La quantité et la qualité de ce dernier sont responsables de l'extensibilité et de l'élasticité de la pâte.

Les résultats du **tableau 22** montrent les teneurs en gluten.

Tableaux 22 : La teneur en gluten de la farine.

	Gluten humide % MS	Gluten sec % MS	Capacité .Hy. du gluten %
farine de blé	24,98	9,08	63,64

(*) : Moyenne de trois essais

En biscuiterie sèche il n'est pas recherché à développer un réseau de gluten continu, au cours du pétrissage de façon à éviter les phénomènes de rétraction des pâtes au laminage et au découpage.

Une farine ayant une teneur de 7 à 9% de gluten sec est suffisante pour la biscuiterie sèche, et spécialement les biscuits à pâte dure qui nécessitent un gluten possédant une grande extensibilité et un degré limité d'élasticité (**KIGER et KIGER, 1967**).

La farine utilisée capitalise dans notre cas, une teneur en gluten sec et humide respectivement de 9,08 % M.S et 24,98 % M.S, ces teneurs sont très proches des valeurs citées dans la littérature pour la biscuiterie sèche. La farine de germe de blé dans son ensemble, ne forme pas de masse viscoélastique lors de l'extraction du gluten. Ce résultat confirme l'absence de formation de gluten dans le germe de blé. En effet, les protéines de germe de blé, sont composées essentiellement de protéines solubles dans les solutions hydrosalines (albumines et globulines) et comportent très peu de gliadines et de Gluténines (**ADRIAN, 2004**).

III.1.2.4) L'indice de chute d'HAGBERG

L'indice de chute est un indicateur de l'activité amylasique (α , β). Une présence excessive ou insuffisante de l' α -amylase engendre la détérioration de la valeur biscuitière.

Une farine hyperdiastasique est une farine dont l'activité α amylasique est élevée avec des valeurs comprises entre 60 et 160 secondes.

Une farine hypodiastasique par contre se caractérise par une activité α amylasique faible et son indice de chute est supérieur à 400 secondes.

Pour l'étude d'EUROGERME (2009) une activité enzymatique optimale pour les farines biscuitières correspond à un indice de chute compris entre 260 et 320 secondes.

Le pouvoir amylolytique, c'est -à dire la capacité de faire lever la pâte suite à l'activité de la levure doit être très faible; s'il est trop élevé, les biscuits prennent à la cuisson une teinte trop foncée due à la libération des dextrans et à une réaction de Maillard trop intense. Ceci se répercutera sur la qualité des biscuits obtenus (KIGER et KIGER, 1967).

La farine de blé tendre analysée dans notre cas présente un indice de chute I.C = 297secondes correspondant ainsi à une activité enzymatique acceptable pour les farines biscuitières.

III.1.2.5) Test de sédimentation de ZELENY

Ce test avec celui réalisé en milieu S.D.S est utilisé pour apprécier la qualité des blés aussi bien en sélection que dans les transactions commerciales. Il reste, en effet un indicateur

fiable de la qualité des protéines liées aux différentes fractions protéiques qui dépendent essentiellement de la variété et des conditions de milieu, qui peuvent également affecter les différentes fractions et en particulier les gliadines (**DARDENNE et al , 2003**).

Le volume du sédiment dépend de la quantité d'eau absorbée et du gonflement des protéines de gluten en milieu acide, il est donc fonction de la quantité et de la qualité de ces dernières (**BERLAND et ROUSSEL, 2005**).

La valeur de cet indice peut varier de 12 à 70 ml (**GODON, 1997**). Le résultat obtenu pour la farine de blé étudiée est de 27 ml.

III.2) Etude des mélanges

III.2.1) Influence du taux d'incorporations de la farine de germe sur les caractéristiques biochimiques des mélanges

L'ensemble de nos résultats sur les composantes biochimiques du mélange est illustré dans le **Tableau 23**.

Tableaux 23 : Résultats biochimiques des différents mélanges de farines.

Echantillons	Humidité % (*)	Cendres % MS (*)	Protéines % MS (*)	Lipides % MS (*)	Glucides (éthano- % MS (*)
farine de blé 100 %	13,69	0,67	10,54	0,98	1,74
1 % farine de germe	13,50	0,73	10,64	1,11	2,00
2 % farine de germe	13,10	0,78	10,70	1,20	2,21
3 % farine de germe	13,00	0,78	11,03	1,29	2,44
4 % farine de germe	13,00	0,79	11,15	1,38	2,71
5 % farine de germe	13,00	0,80	11,26	1,46	2,89
6 % farine de germe	12,80	0,83	11,24	1,47	2,92
7 % farine de germe	12,60	0,84	11,33	1,64	3,33
8 % farine de germe	12,50	0,86	11,43	1,73	3,55
9 % farine de germe	12,60	0,87	11,67	1,82	3,78
10 % farine de germe	12,30	0,89	11,86	1,90	4,00
Moyenne	12,84	0,82	11,23	1,50	2,98

(*) : Moyenne de deux essais

A) L'humidité des mélanges :

Les résultats de l'humidité des différents mélanges des farines sont inscrits dans le **tableau 23** et illustrés par la **figure 15**.

La teneur en eau des différents mélanges varie entre 12,30 et 13,50 %, avec une moyenne de 12,84 %. Elle diminue au fur et à mesure que le taux d'incorporation augmente, pour atteindre 12,30 % comme valeur minimale au taux d'incorporation de 10%.

Ceci est dû à la faible teneur en humidité de la farine de germe de blé incorporé qui est de 5,58 %. La teneur en humidité des mélanges est incluse dans la fourchette des farines biscuitières (12 à 16 %) KIGER et KIGER, 1967.

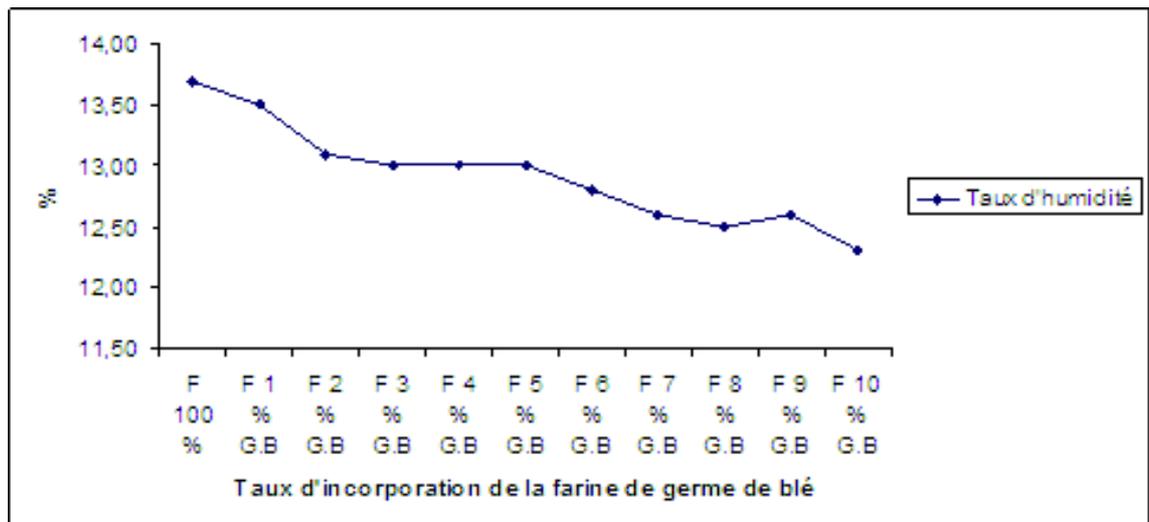


Figure 15 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur la teneur en humidité des différents mélanges.

B) la teneur en cendres des mélanges :

Les résultats de la teneur en cendres des différents mélanges sont regroupés dans le **tableau 23** et illustrés par la **figure 16**.

L'adjonction de farine de germe de blé à différent taux à la farine de blé augmente les teneurs en cendres du mélange qui passent de 0,73% MS pour le mélange à 1 % de farine de germe de blé à 0,89% MS pour le mélange à 10%, avec une moyenne de 0,82 % MS. la richesse du germe de blé en matières minérales en est la principale cause.

Ces teneurs des mélanges restent supérieures à celles recommandées par BIARNAIS (1987) qui fixe des intervalles entre 0,48 et 0,60 % pour les farines destinées à la biscuiterie.

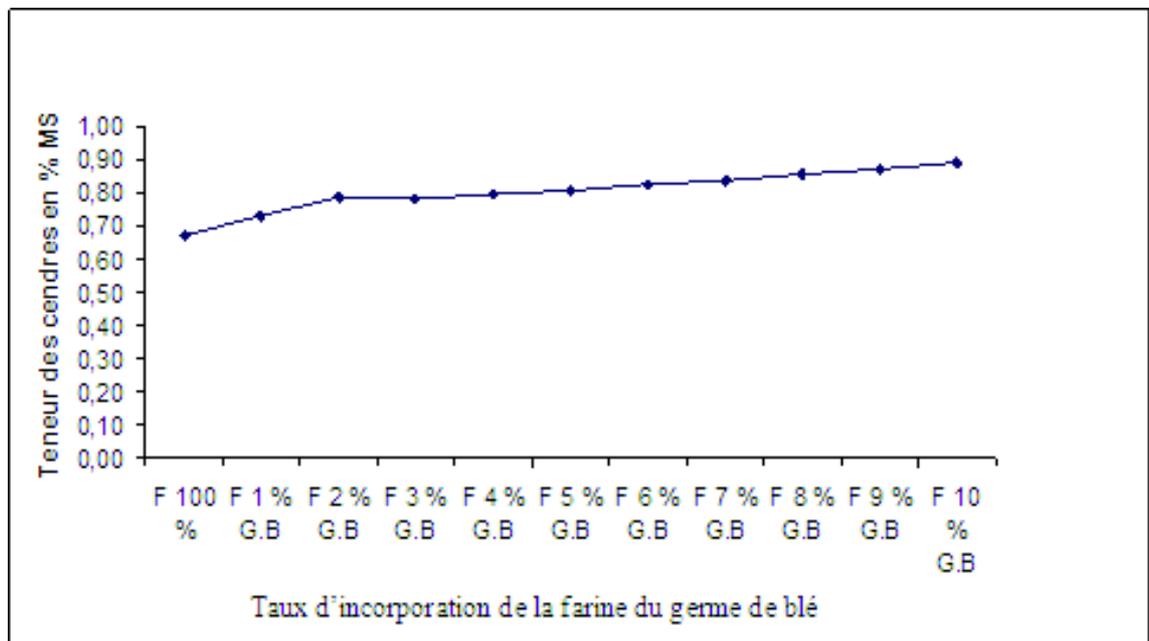


Figure 16 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur la teneur en cendres des différents mélanges.

C) La teneur en lipides totaux des mélanges :

Les teneurs en lipides totaux des différents mélanges sont regroupés dans le **tableau 23** et illustrés par la **figure 17**.

Les résultats obtenus montrent que l'incorporation de la farine de germe de blé augmente le taux de lipides des différents mélanges qui passe de 1,11 % MS à 1,9 % MS respectivement pour ceux à 1% et 10 % d'incorporation, avec une moyenne de 1,50 % MS. La richesse de la farine de germe de blé en lipides (10,08 % MS) reste la cause principale de Cette évolution positive, en effet ces taux demeurent dans la fourchette fixée pour une farine biscuitière (1à 2%). **KIGER et KIGER, 1967 ; CHUNG et al , 1978 ; GENOT, 1984 ; SHEWRY et al , 1997 ; FEILLET (2000)** ; rapportent des résultats de 1 à 2,01 %.

L'augmentation de la quantité de matière grasse dans la pâte favorise le développement d'une structure dure dans le biscuit (**MANLY, 1998**).

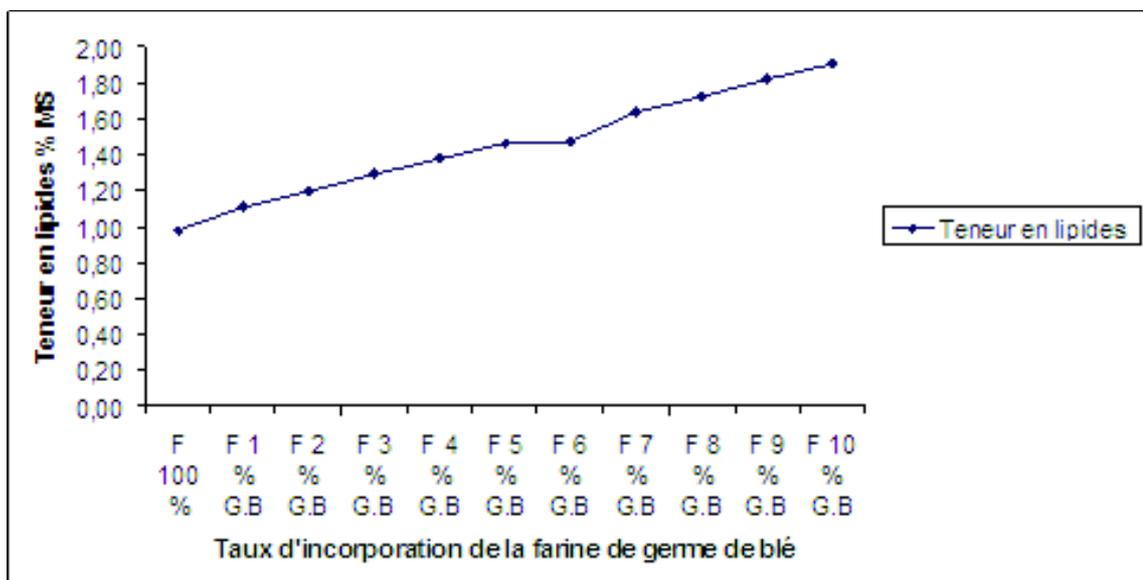


Figure 17 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur la teneur en lipides des différents mélanges.

D) La Teneur en protéines des mélanges :

Les teneurs en protéines des différents mélanges sont répertoriés dans le **tableau 23** et illustrés par la **figure 18**.

Au vu des résultats obtenus, nous remarquons une augmentation proportionnelle du taux d'incorporation, de la teneur en protéines des différents mélanges. Cette augmentation est le résultat de la richesse de la farine de germe de blé en protéines.

L'incorporation de la farine de germe de blé augmente largement le taux de protéines des différents mélanges qui passent de 10,54 % MS à 11,86 % MS, pour atteindre une moyenne de 11,23 % MS. **BIARNAIS (1987)** a montré qu'une pâte ayant un taux de protéines en dessous de 9%, est sujette à un problème des de machinabilité et de tenue en développement. Au dessus de 12%, les biscuits présentent une très grande rétraction et une longueur incontrôlable, ces résultats corroborent ceux de **WADE, 1988 ; SOUZA et al , 1994 ; ECM., 1996 ; CHARUN et MOREL., 2001 ; FUSTIER., 2006** . Malgré les taux d'incorporation, les mélanges utilisés restent en dessous des normes requises pour une

farine biscuitière (une valeur qui ne dépasse pas les 12 %). Une teneur élevée en protéines entraîne une augmentation d'eau absorbée par le gluten (**GAINES et FINNEY , 1992**).

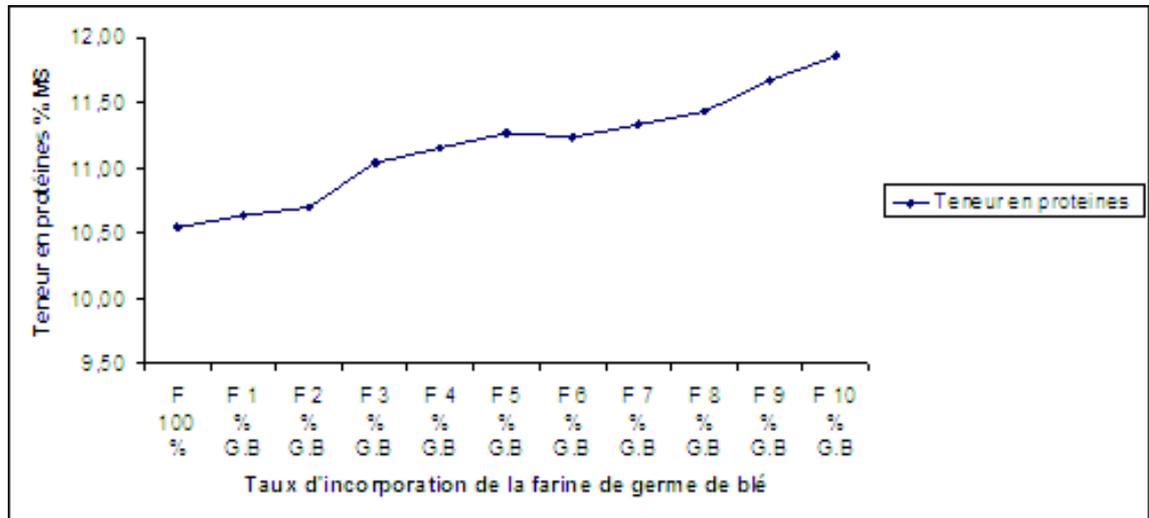


Figure 18 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur la teneur en protéines des différents mélanges.

E) La teneur en glucides des mélanges :

Les teneurs en glucides éthano-solubles des différents mélanges sont reportés sur le **tableau 23** et illustrés par la **figure 19**.

L'étude des différents mélanges montre que la teneur en glucides passe de 2,00 % MS pour le mélange avec 1 % de farine de germe de blé à 4,00% MS pour le mélange à 10%, avec une moyenne de 2,98 % MS. Cette augmentation est due à la richesse de la farine de germe de blé en glucides.

Ces teneurs des mélanges jusqu'à un taux d'incorporation de 3% restent dans les normes d'une farine biscuitière (CUNING et al,1977 ; FEILLET, 2000). Les mélanges utilisés dépassant la limite maximale autorisée en sucres peuvent être corrigés en diminuant la quantité de saccharose ajoutée pour la fabrication du biscuit.

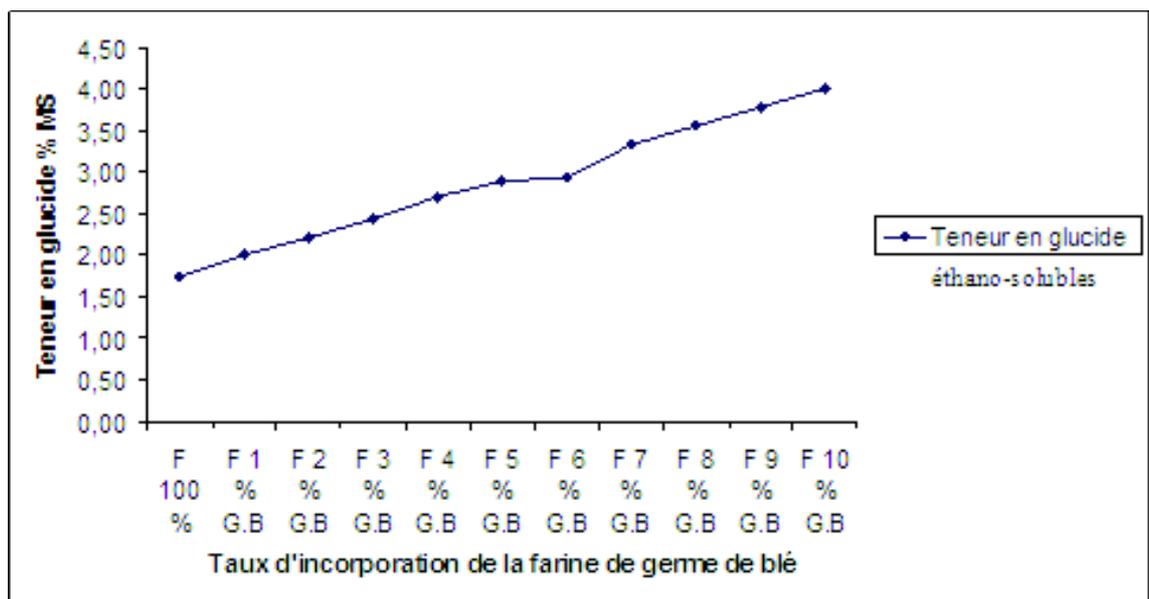


Figure 19 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur la teneur en glucides des différents mélanges.

Les sucres présentent une grande importance dans la définition de la résistance du biscuit à la fracture après la cuisson et à sa capacité de déformation au cours du stockage. Une concentration élevée en sucres entraîne une baisse de la dureté du biscuit suite à une baisse du développement de réseau gluteneux ; en parallèle, on assiste à une augmentation de l'étalement et de l'épaisseur du biscuit, la nature des sucres présents joue aussi un rôle dans le développement de la texture, le fructose favorise la couleur alors que le saccharose influence l'adhérence et la viscosité de la pâte (**SAI MANOHAR et HARIDAS , 2002**).

F) La teneur en cellulose des mélanges :

Les résultats de la teneur en cellulose des différents mélanges sont rassemblés dans le **tableau 23** et illustrés par la **figure 20**.

La teneur en cellulose des différents mélanges varie entre 0,12 et 0,36 % MS, avec une moyenne de 0,23 % MS. Cette augmentation est due à la richesse de la farine de germe de blé en cellulose qui atteint 2,47 % MS. Ces teneurs en cellulose sont très loin des normes recommandées à la fabrication des biscuits et qui se situent aux environs de 0,5% (FEILLET, 2000). Ces teneurs élevées si elles peuvent poser des problèmes technologiques et d'acceptabilité du biscuit peuvent ajouter un plus à la qualité diététique du produit et limiter les effets d'oxydation des lipides. En effet il a été montré que les lignines avec la cellulose exercent un effet anti oxydant.

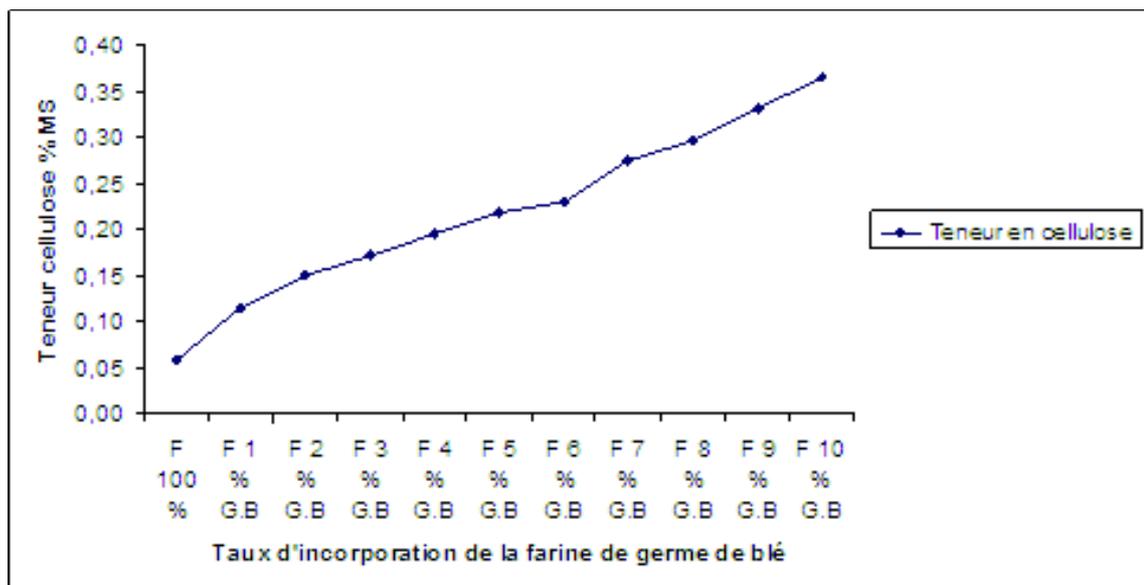


Figure 20 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur la teneur en cellulose des différents mélanges.

III.2.2) Influence du taux d'incorporations de la farine de germe de blé sur Les caractéristiques technologiques des mélanges

A) Le taux du gluten des mélanges :

Le gluten, ce complexe protéique confère à la pâte ses qualités plastiques. En général, la valeur boulangère et biscuitière d'une farine est liée à la teneur en protéine et en gluten sec (**CALVEL, 1980**).

L'analyse des résultats obtenus (**tableau 24**) est illustrée par la **figure 21**, montre que la teneur en gluten sec varie en fonction du taux de farine de germe incorporée. Elle passe de 9,08 à 7,98 % M.S respectivement pour des taux d'incorporation de 1 et 10%, avec une moyenne de 8,64 % M.S. Cette diminution progressive de la teneur en gluten est due en général à l'absence du gluten dans la farine de germe de blé.

Tableau 24 : Résultats du taux de gluten des différents mélanges.

Taux d'incorporation	G.H % MS(*)	G.S % MS(*)	Capacité .Hy. du gluten %
farine de blé 100 %	24,98	9,08	63,64
1% f.germe	24,91	9,08	63,57
2% f.germe	24,36	8,98	63,16
3% f.germe	24,94	9,06	63,69
4% f.germe	24,83	9,05	63,56
5% f.germe	23,10	8,45	63,43
6% f.germe	23,74	8,19	65,51
7% f.germe	25,06	8,90	64,47
8% f.germe	23,66	8,51	64,01
9% f.germe	23,23	8,24	64,53
10% f.germe	23,09	7,98	65,43
Moyenne	24,09	8,64	64,14

(*) : Moyenne de deux essais

Selon **CAVEL (1980)**, le gluten doit être élastique et extensible et son pourcentage doit être compris entre 9 et 11 % pour les blés usuels, tandis que pour les blés dits de force, la teneur en gluten varie de 12 à 15%. **KIGER et KIGER (1967)**, ont montré que pour la fabrication des biscuits secs, une teneur en gluten sec comprise entre 7 et 9% est largement suffisante. Il ressort ainsi que les mélanges de farine utilisés dans notre cas s'insèrent dans la fourchette recommandée. Dans le cas du gluten humide le taux usuel rapporté par (**BOUDREAU et MENARD, 1993**) se situe entre 20 et 24% ce qui correspond bien à la valeur des mélanges confectionnés.

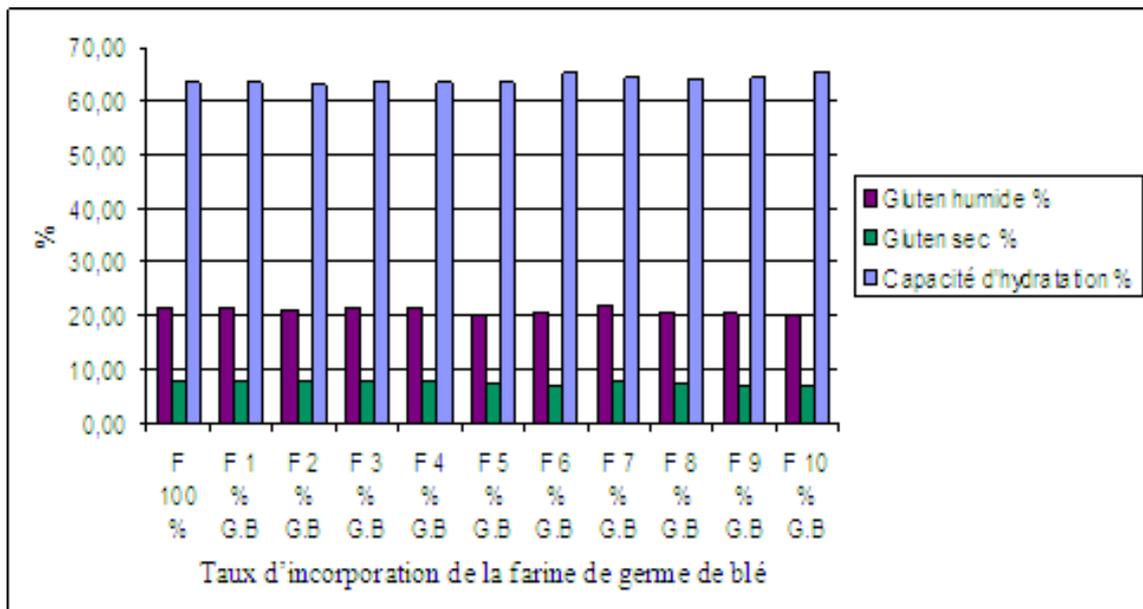


Figure 21 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur la teneur en gluten (sec et humide) et la capacité d'hydratation des différents mélanges.

B) Les caractéristiques des mélanges mesurés à l'alvéographe de CHOPIN:

Les caractéristiques des pâtes de mélanges mesurées à l'alvéographe sont très influencées par le taux d'incorporation de la farine de germe de blé (**Tableau 25**). Les alvéogrammes des mélanges illustrés en **Annexe 02**, montrent bien des allures de courbes tout a fait différentes avec des caractéristiques variables.

1) Ténacité (P) :

La ténacité « P » varie en fonction du taux d'incorporation en germe de blé de la farine. Elle passe de 57 mm pour le témoin à 37 mm pour la farine à 10 % d'incorporation de germe, avec une moyenne de 41,82 mm (**Figure 22**).

Cette baisse en ténacité des mélanges se stabilise aux environ de 6%. Ces valeurs restent incluses pour des farines à usage biscuitier et dont les valeurs recommandées sont de 30 à 60 mm. Cette ténacité est liée à:

- la quantité et à la qualité du gluten (essentiellement au taux des Gluténines qui sont responsables de la ténacité et l'élasticité **BRANLARD et al , 1992**) et dont la teneur diminue au fur et à mesure que le taux d'incorporation augmente.

- la granulométrie de la farine et à la teneur en amidon endommagé ainsi que celles de la fraction pentosanes (**DEXTER et al , 1994 ; GODON et LOISEL, 1997**).

Taux d'incorporation	Caractéristiques alvéographiques					Caractéristiques farinographiques			
	W (10 ⁻⁴ J)	P (mm H ₂ O)	L (mm)	P.L	G (cm ³)	A (%)	B (min)	CD (min)	AF (UB)
farine 100% blé	163	57	85	0,67	20,6	55,30	1,40	2,10	96,00
1% farine de germe	134	46	98	0,47	22,1	56,00	1,50	1,90	99,00
2% farine de germe	112	45	88	0,51	20,9	56,10	1,40	1,90	113,00
3% farine de germe	100	44	78	0,57	19,7	56,20	1,30	1,90	108,00
4% farine de germe	84	42	76	0,67	19,4	56,70	1,20	2,40	106,00
5% farine de germe	75	40	74	0,57	18,7	56,30	1,20	3,00	112,00
6% farine de germe	60	38	56	0,68	16,7	56,60	1,70	3,70	109,00
7% farine de germe	57	38	56	0,69	16,6	56,80	1,20	3,60	110,00
8% farine de germe	50	37	46	0,81	15,1	57,10	1,30	3,00	117,00
9% farine de germe	44	36	39	0,94	13,8	57,10	1,20	2,30	124,00
10% farine de germe	46	37	40	0,93	14,1	57,30	1,50	2,60	133,00
Moyenne	84,09	41,82	66,64	0,68	17,97	56,50	1,35	2,58	111,55

W : travail de déformation de la pâte.
P : ténacité de la pâte.
L : extensibilité de la pâte.
P.L : rapport de configuration de courbe.
G : index du gonflement.

A : Absorption d'eau.
B : Temps de développement de la pâte.
CD : Stabilité de la pâte.
AF : Affaiblissement de la pâte après 12 min.

Tableau 25 : Caractéristiques rhéologiques des différents mélanges de farines.

Selon **DUBOIS (1987)**, une farine à faible ténacité se comportera mal à la fermentation (faible rétention du CO₂) et aura tendance au relâchement. **SRIVASTAVA et al , 2007** ont montré que l'incorporation de farine de germe de blé influence les caractéristiques alvéographiques selon le mode de traitement thermique utilisé pour la stabilité du germe. Ils rapportent aussi une augmentation de la ténacité de la pâte « P » avec l'augmentation du taux d'incorporation, la possibilité de formation d'un réseau élastique tridimensionnelle des protéines avec l'amidon et les lipides de germe peut être la cause essentielle de cette variation.

2) L'extensibilité (L) :

L'extensibilité de la pâte « L » dans le cas des mélanges réalisés augmente jusqu'à un taux d'incorporation de 2% et ceci comparativement au témoin. Au-delà une baisse proportionnelle au taux d'incorporation s'amorce pour se stabiliser à partir de 9% (**Figure 22**), avec une moyenne de 66,44mm. Ces valeurs se retrouvent en dehors de la fourchette d'une farine biscuitière (90 à 120 mm) sauf pour le mélange à 1%. Cette extensibilité qui est

reste liée au rapport Gliadines/Gluténines et à la teneur en pentosanes de la pâte est un caractère important dans la formation du biscuit et surtout de sa forme (**GODON et LOISEL., 1997**). Des résultats similaires sont trouvés par **SRIVASTAVA et al (2007)** qui expliquent la diminution de l'extensibilité par la formation d'un complexe des constituants de germe stabilisé thermiquement.

3) L'indice de gonflement (G) :

L'indice de gonflement renseigne sur l'extensibilité de la pâte, et l'aptitude du réseau gluteneux à retenir le gaz carbonique formé (**KITTISSOU, 1995**).

En effet de nombreuses molécules volatiles et de flaveur se développent au cours de la cuisson du fait de réactions non enzymatiques accélérées par la chaleur. Ces molécules se développent en surface et peuvent se volatiliser si elles ne sont pas retenues. La production de CO₂ ou NH₂ issues de la dégradation des poudres levantes est responsable de la formation d'une structure dans la pâte biscuitière. Le gonflement de la pâte diminue avec l'augmentation du taux d'incorporation, en effet il passe de 22,1cm³ pour le mélange à 1% de germe à pratiquement 14,1 cm³ pour les mélanges à 9 et 10 %. Ces valeurs sont acceptables jusqu'à un taux de 5% d'incorporation pour une farine biscuitière qui requiert un gonflement compris entre 18 et 23 cm³ (**BIARNAIS, 1987**). Au-delà de 5% d'incorporation du germe, les mélanges deviennent hors normes.

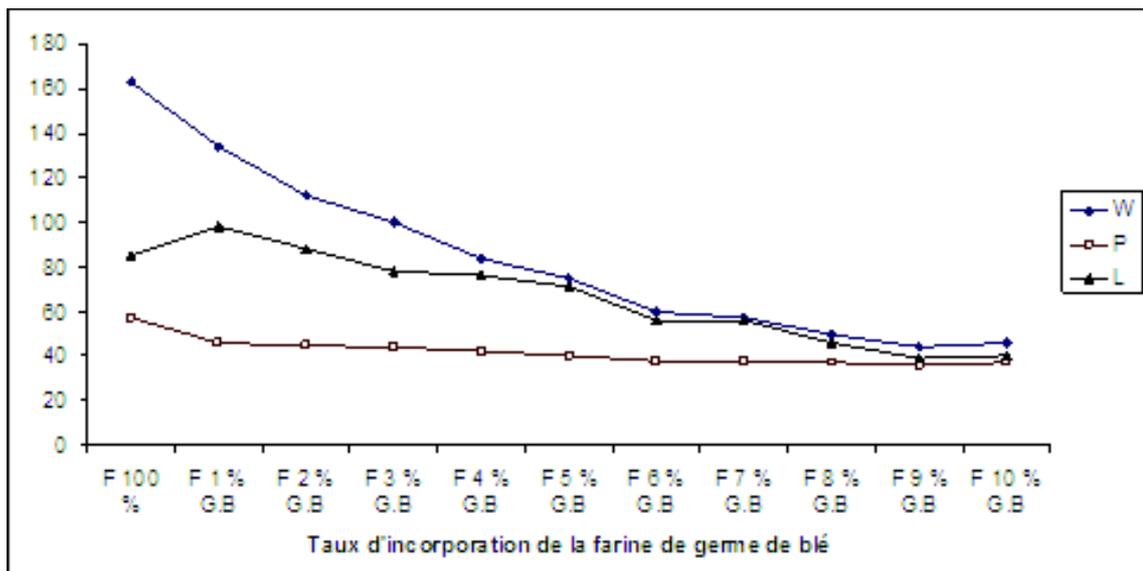


Figure 22 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur les caractéristiques alvéographiques des différents mélanges.

W : travail de déformation de la pâte (10⁻⁴ J).

P : ténacité de la pâte (mmH₂O).

L : extensibilité de la pâte (mm).

4) Le rapport de configuration « P/L » :

Le rapport de configuration « P/L » traduit l'équilibre général de l'alvéogramme c'est-à-dire l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité des pâtes formées (**DUBOIS, 1996**).

Le rapport de configuration « P/L » des mélanges se situe entre 0,47 et 0,93, avec une moyenne de 0,68. Il augmente proportionnellement avec le taux d'incorporation de la farine de germe (**Figure 23**) et dénote des pâtes peu extensibles, si l'on tient pour référence les valeurs du « P/L » requises pour une farine biscuitière et qui se situent entre 0,47 à 0,67 (**BIARNAIS, 1987 ; ECM, 1996 ; EUROGERME, 2009**), Il est à noter que jusqu'à 6% d'incorporation de germe de blé, les mélanges restent adaptés à la farine de biscuits, au delà de ce taux, des problèmes de travail de la pâte peuvent surgir et provoquer une dépréciation du produit obtenu.

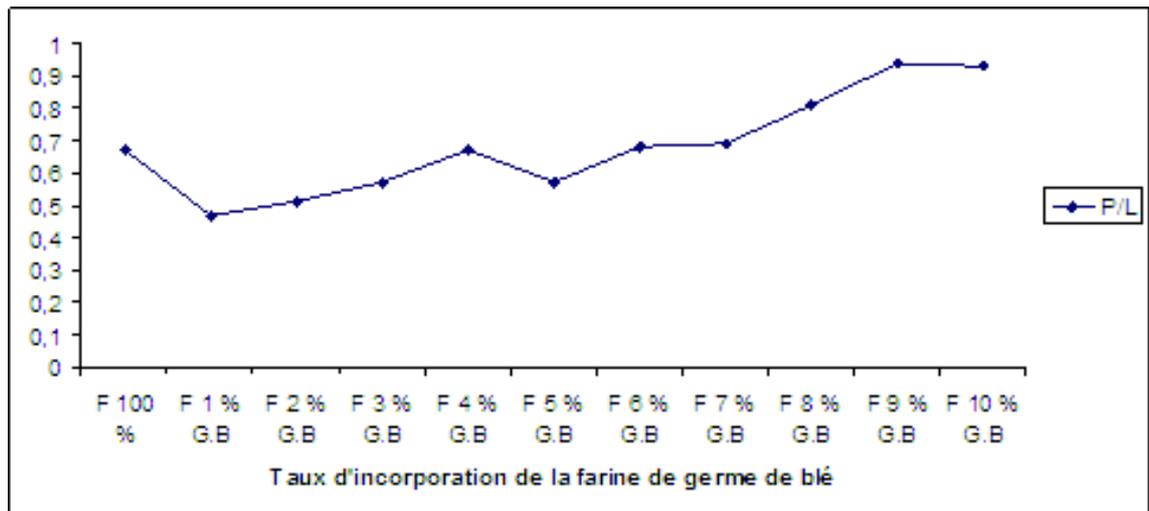


Figure 23 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur le rapport de configuration « P/L » des différents mélanges.

D'après **DUBOIS (1987)**, un rapport P/L supérieur à 1, correspond généralement à des pâtes trop tenaces, manquant d'extensibilité, tandis qu'un rapport P/L inférieur à 0,3 correspond à des pâtes trop extensibles, et peut poser des problèmes de machinabilité.

5) La force boulangère « W » :

Le paramètre « W » permet de déterminer la force boulangère d'une farine, il est très utilisé dans les transactions commerciales et sert à classer les farines selon leur utilisation.

CALVEL(1980) a noté que si ce paramètre a de l'importance, sa signification reste limitée si l'on ne tient pas compte des autres caractéristiques alvéographiques.

Les mélanges utilisés dans notre cas présentent des forces boulangères faibles. Elles varient considérablement d'un échantillon à un autre (de $134 \cdot 10^{-4} J$ pour 1% de germe de blé à $46 \cdot 10^{-4} J$ pour 10% de germe de blé) et diminuent au fur et à mesure que le taux d'incorporation augmente.

D'après **FEILLET (2000)**, la variabilité de la force boulangère « W » peut s'expliquer par la teneur en Gliadines et en Gluténines et également par la disponibilité de certains acides aminés soufrés (méthionine, cystéine) qui fournissent des ponts disulfures intramoléculaires par lesquels s'associent les gliadines, et par la diminution des interactions intermoléculaires qui favorisent la force de la pâte.

DACOSTA (1986), montre que la teneur en protéines n'est pas un critère fiable de la force boulangère. Cette dernière est régie par la qualité du gluten (taux de Gluténines et le rapport Gluténines/Gliadines).

Une des causes de la baisse de la force de la pâte est la composition du germe de blé et la qualité des protéines qui le composent (albumines + globulines) **IBANOGLU, 2002 ; ADRIAN, 2004**). Les albumines et les globulines ont peut d'effet sur la force boulangère de la farine du blé tendre (**MACRITCHIE, 1990 ; GODON, 1991**). La dénaturation des protéines du germe de blé par le traitement thermique de stabilisation peut aussi affecter la qualité des protéines. Cette baisse du « **W** » au fur et à mesure que le taux de farine de germe blé augmente (**Figure 22**) corroborent les résultats rapportés par **SRIVASTAVA et al (2007)**.

Selon **BERLAND et ROUSSEL (2005)**, la force boulangère « **W** » reste très influencée par le rapport Gluténines /Gliadines ainsi que par la granulométrie de la farine qui est en relation avec la texture (dureté de l'albumen) et en particulier les proportions élevées en amidon endommagé et en pentosanes.

C) Les caractéristiques mesurée au farinographiques des mélanges :

Les résultats des tests au farinographe sont rassemblés dans le **tableau 25**, et les Farinogrammes des mélanges illustrés en **annexe 03**.

1) L'absorption d'eau (A):

L'examen des résultats du farinographe, montre que les valeurs d'absorption des échantillons testés oscillent entre 56% pour l'échantillon à 1% à 57,30% pour celui incorporé à 10%, avec une moyenne de 56,50 %. Ces valeurs d'absorption sont proches de la fourchette pour les farines biscuitières rapportés par **DOBRSZCZYK, 2004 ; CAUVAIN et YOUNG, 2007** et l'étude d'**EUROGERME, 2009** (50 à 54%). Alors que **KIGER et KIGER (1967)** tolèrent jusqu'à 67% d'absorption ce qui rend nos farines acceptables pour la biscuiterie.

L'absorption en eau des mélanges des farines augmente proportionnellement avec le taux d'incorporation de la farine de germe de blé (**Figure 24**). Ces résultats corroborent ceux cités par **SRIVASTAVA et al (2007)**. Le taux de gélatinisation de l'amidon au cours du traitement thermique appliqué pour la stabilisation serait un élément pouvant expliquer cette hausse.

La quantité et la qualité des protéines, les pentosanes et l'amidon endommagé sont des facteurs qui peuvent aussi affecter le taux d'absorption d'eau (**GODON et LOISEL, 1997**).

Pour **FEILLET (2000)**, les protéines ont la capacité d'absorber 1,5 à 2 fois leur poids (1,8 en moyenne), et pour une pâte, cette capacité d'absorption croît avec la teneur en protéines et le taux d'endommagement de l'amidon.

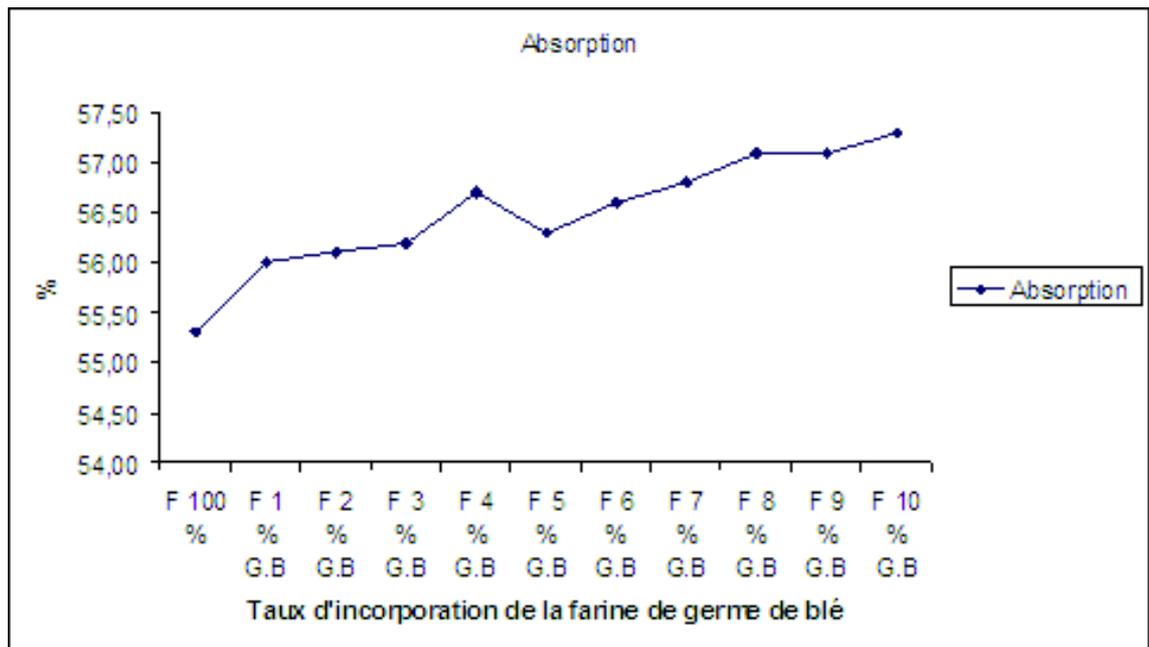


Figure 24 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur les taux d'absorption des différents mélanges.

2) Temps de développement (B) et la stabilité de la pâte (CD) :

Le temps de développement de la pâte des mélanges varie de 1,20 à 1,70min, avec une moyenne de 1,35min (**Figure 25**), tandis que le temps de stabilité varie de 1,90 à 3,70min, avec une moyenne de 2,58min (**Figure 25**). Les valeurs de temps de développement pour les farines biscuitières sont dans la marge de 1 à 2 min (**KIGER et KIGER, 1967**).

Le temps de développement de la pâte diminue avec le taux d'incorporation jusqu'à atteindre une valeur de 1,20 min à 5%, pour reprendre pratiquement la même valeur (1,50 min) que celui de l'échantillon incorporé à 1% lorsque le taux d'incorporation est de 10%. Au-delà de 5% une stabilité est observée. La stabilité de la pâte par contre reste inchangée jusqu'à 3% d'incorporation. Au-delà de ce taux une tendance à la hausse est perceptible et ceci jusqu'au taux de 7% de farine de germe de blé. Au-delà une tendance à la baisse est notée.

Ces valeurs trouvées laissent prévoir une tolérance au pétrissage de la pâte surtout pour les mélanges 5, 6, 7 et 8 %.

Si on compare ces valeurs obtenues avec celles recommandées pour une farine biscuitière, il en ressort que seuls les mélanges 1,2 et 3% restent dans les normes (1 à 2min).

La richesse de germe de blé principalement en albumines et globulines (**IBANOGLU, 2002 ; ADRIAN, 2004**) est un élément qui favorise la tolérance de la pâte au pétrissage ainsi que sa rétention gazeuse (**PRESTON et al , 1992 ; GANZ et al , 1995**).

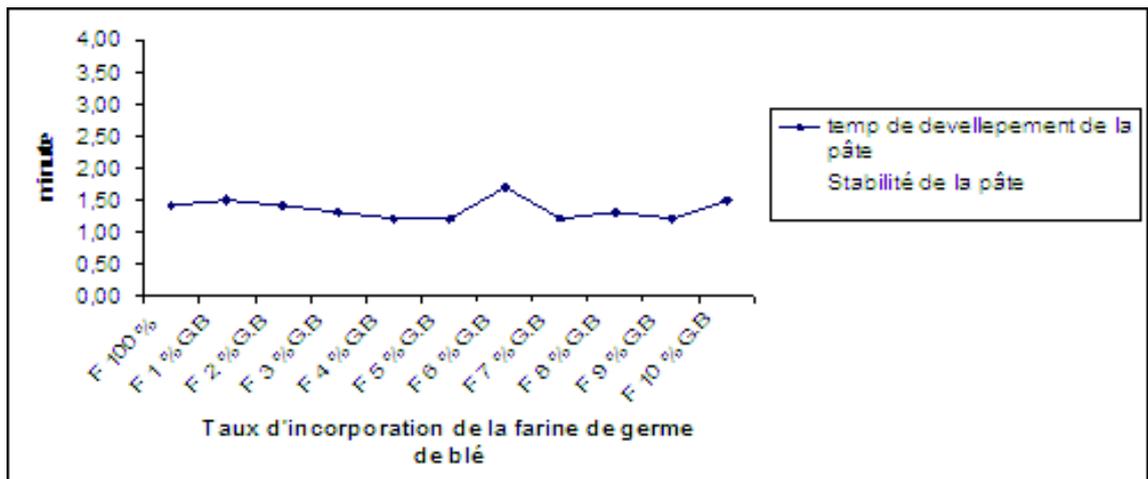


Figure 25: Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur le temps de développement et stabilité de la pâte des différents mélanges.

3) l'affaiblissement de la pâte (AF) :

L'affaiblissement de la pâte varie entre 99UB pour le taux d'incorporation à 1% à 133UB pour celui réalisé à 10%. Cette augmentation proportionnelle au taux d'incorporation de la farine de germe de blé (**Figure 26**) est le résultat de la dénaturation partielle des protéines du germe de blé par le traitement thermique de stabilisation qui affaiblit les caractéristiques rhéologiques des pâtes. Ces résultats corroborent ceux trouvés par **SRIVASTAVA et al (2007)**.

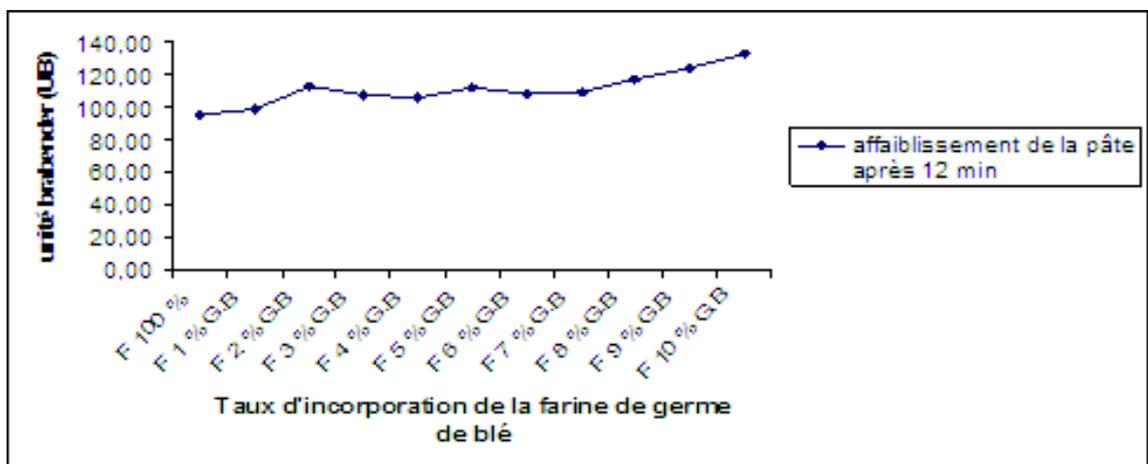


Figure 26 : Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur l'affaiblissement de la pâte des différents mélanges.

D) L'indice de CHUTE et le test de ZELNY des mélanges :

Les résultats des indices de chute et de sédimentation de Zeleny des différents mélanges sont regroupés dans le **tableau 26**.

Tableau 26 : Résultats des indices de chute et tests de Zeleny des différents mélanges.

Taux d'incorporation	Indice de chute (Sec)*	Indice de sédimentation de Zeleny (ml)*
farine 100% blé	297	27
1% farine de germe	298	22
2% farine de germe	299	22
3% farine de germe	309	22
4% farine de germe	309	22
5% farine de germe	300	22
6% farine de germe	312	23
7% farine de germe	312	23
8% farine de germe	320	24
9% farine de germe	318	24
10% farine de germe	317	24
Moyenne	308,27	23,18

(*) : Moyenne de trois essais

Les temps de chute tous mélanges confondus sont supérieur à celui de la farine témoin. Ils passent de 298sec pour le mélange à 1% à environ 320sec pour les farines incorporées à 8, 9 et 10% (**Figure 27**). Cette augmentation de l'indice de chute avec le taux d'incorporation est due essentiellement à la richesse du germe de blé en α - amylase qui reste une enzyme thermorésistante (**NURET, 1991**).

Pour l'étude d'**EUROGERME (2009)** une activité enzymatique optimale pour les farines biscuitières correspond à un indice de chute compris entre 260 et 320 secondes ce qui est le cas des mélanges utilisés.

Pour l'indice de sédimentation (Test de Zeleny) **Tableau 26, Figure 28**, l'incorporation de germe abaisse de 5 unités le volume de sédiment et ceci jusqu'au taux de 5% d'incorporation. Au-delà une petite amélioration s'amorce sans toutefois atteindre la valeur de l'échantillon témoin. La richesse en protéines globulaires du germe et la quasi inexistence du gluten diminue le gonflement du sédiment protéique. La présence de pentosanes ou d'amidon endommagée dans le sédiment peut être aussi une cause de variabilité de cet indice (**ADRIAN, 2004 ; BERLAND et ROUSSEL, 2005**). Ces indices restent quand même acceptables pour une farine biscuitière (**LEVYL et al , 2009**).

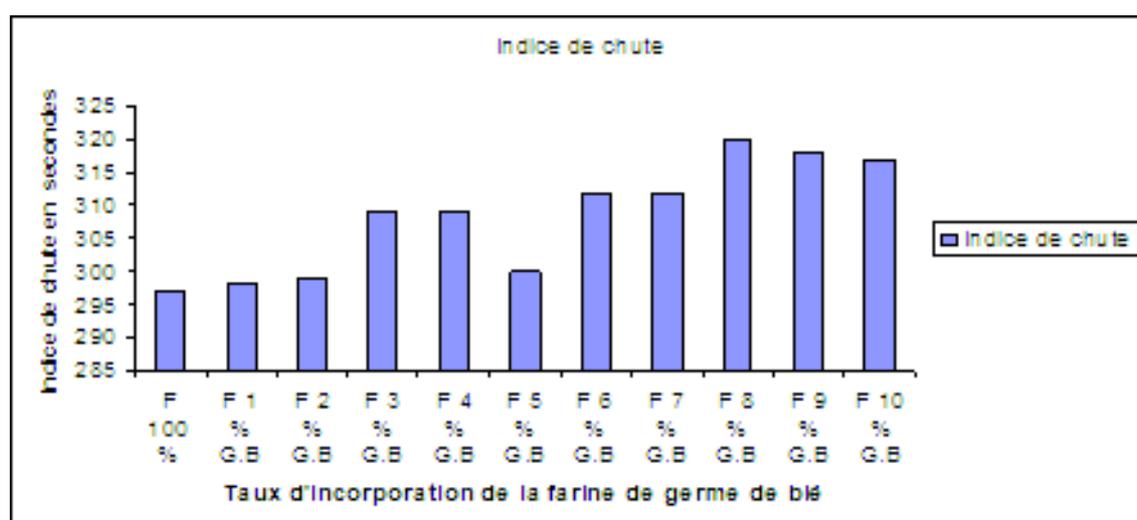


Figure 27: Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur l'indice de chute de HAGBERG des différents mélanges

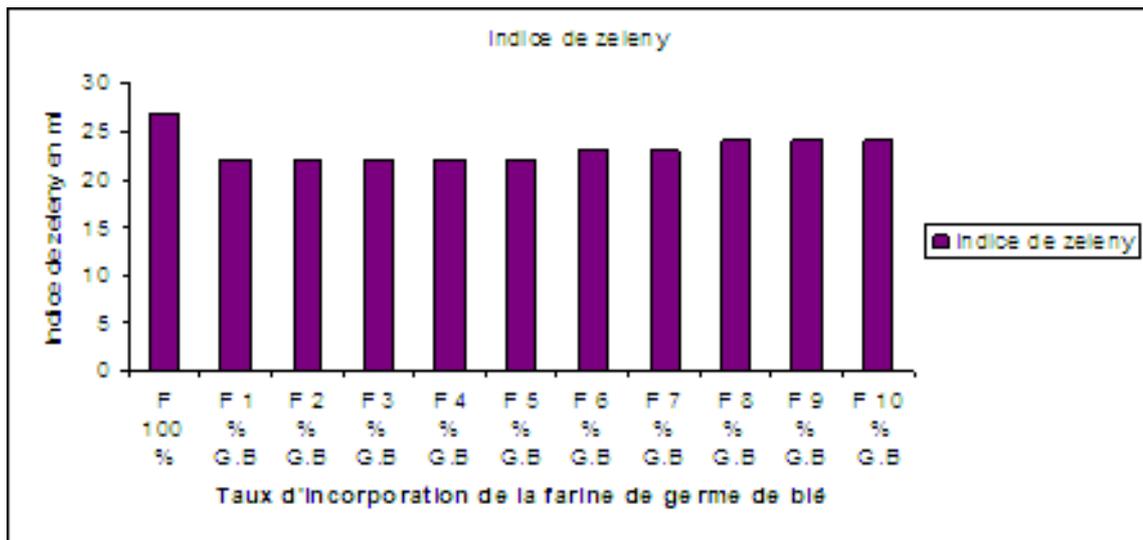


Figure 28: Influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur le test de Zeleny des différents mélanges

III.2.3) Relations entre les résultats des différentes analyses biochimiques et technologiques

Le **Tableau 27** rassemble les coefficients de corrélations obtenus entre les paramètres biochimiques et les différents tests d'appréciation de la qualité technologique effectués. Seul les corrélations présentant une signification positive ou négative ont été retenues.

De cette analyse, il en ressort que les taux de glutens des différents mélanges de farines sont positivement et significativement corrélés : aux **W** ($r = 0,757$, $p < 0,01$), aux **P** ($r = 0,695$, $p < 0,05$), aux **G** ($r = 0,831$, $p < 0,01$), aux **L** ($r = 0,827$, $p < 0,01$). Les taux de glutens des différents mélanges de farines sont aussi négativement et très significativement corrélés à la teneur en protéines totales ($r = -0,820$, $p < 0,01$), aux **P/L** ($r = -0,718$, $p < 0,05$), aux **Absorption** ($r = -0,691$, $p < 0,05$), aux **Affaiblissements** ($r = -0,795$, $p < 0,001$), aux **Indices de chute** ($r = -0,628$, $p < 0,05$).

La **Ténacité « P »** par contre est corrélée très négativement : avec la teneur en protéines totales ($r = -0,862$, $p < 0,01$), avec celles des lipides ($r = -0,889$, $p < 0,01$) et des glucides ($r = -0,880$, $p < 0,01$). Le « **P** » est aussi corrélée positivement avec la teneur en gluten sec ($r = 0,695$, $p < 0,05$).

L'**extensibilité « L »** est corrélée aussi très négativement : avec la teneur en protéines totales ($r = -0,935$, $p < 0,01$), en lipides ($r = -0,947$, $p < 0,01$) et en glucides ($r = -0,952$, $p < 0,01$). Ce paramètre « **L** » s'avère être aussi corrélé positivement avec la teneur en gluten sec ($r = 0,827$, $p < 0,01$).

Le **gonflement « G »** est aussi corrélé très négativement avec la teneur en protéines totales ($r = -0,937$, $p < 0,01$), en lipides ($r = -0,952$, $p < 0,01$) et en glucides ($r = -0,957$, $p < 0,01$), mais le « **G** » est par contre est corrélé positivement avec la teneur en gluten sec ($r = 0,831$, $p < 0,01$).

Le **rapport de configuration « P/L »** est corrélé positivement avec la teneur en protéines totales ($r = 0,827$, $p < 0,01$), avec celles des lipides ($r = 0,823$, $p < 0,01$) et des glucides ($r =$

0,835, $p < 0,01$). Il s'avère aussi être corrélé négativement avec la teneur en gluten sec ($r = -0,718$, $p < 0,05$).

La force boulangère « **W** » se trouve corrélé négativement avec la teneur en protéines totales ($r = -0,936$, $p < 0,01$), en lipides ($r = -0,951$, $p < 0,01$) et en glucides ($r = -0,947$, $p < 0,01$), elle est par contre corrélée positivement avec la teneur en gluten sec ($r = 0,757$, $p < 0,01$).

		protéines %MS	lipides %MS	glucide %MS	G.S %MS
protéines %MS	r	1			
lipides %MS	r		1		
glucide %MS	r			1	
G.S %MS	r	-0,820**			1
W (10^{-4} J)	r	-0,936**	-0,951**	-0,947**	0,757**
P (mm H ₂ O)	r	-0,862**	-0,889**	-0,880**	0,695*
L (mm)	r	-0,935**	-0,947**	-0,952**	0,827**
P / L	r	0,827**	0,823**	0,835**	-0,718*
G (cm ³)	r	-0,937**	-0,952**	-0,957**	0,831**
A (%)	r	0,929**	0,955**	0,952**	-0,691*
AF (UB)	r	0,876**	0,886**	0,883**	-0,795**
I.C (sec)	r	0,866**	0,887**	0,887**	-0,628*

r : le coefficient de Corrélation de Pearson

(*), (**) Significative à $p < 0,05$ et $p < 0,01$ respectivement

W : travail de déformation de la pâte.

P : ténacité de la pâte.

L : extensibilité de la pâte.

P/L : rapport de configuration de courbe.

G : index du gonflement.

A: Absorption d'eau.

I.C : Indice de chute (seconde).

CD : Stabilité de la pâte.

AF : Affaiblissement de la pâte après 12min.

Tableau 27 : Corrélations entre les analyses biochimiques et technologiques des mélanges de farines

L'absorption d'eau « **A** » mesuré au farinographe laisse apparaître des corrélations significatives et positives avec le taux en protéines totales ($r = 0,929$, $p < 0,01$), en lipides ($r = 0,955$, $p < 0,01$), et en glucides ($r = 0,952$, $p < 0,01$), mais elle s'avère être corrélée négativement avec la teneur en gluten sec ($r = -0,691$, $p < 0,05$).

L'affaiblissement de la pâte aussi présente des corrélations significatives et positives : avec le taux en protéines totales ($r = 0,876$, $p < 0,01$), en lipides ($r = 0,886$, $p < 0,01$), et en glucides ($r = 0,883$, $p < 0,01$), mais il montre une corrélation négativement avec la teneur en gluten sec ($r = -0,795$, $p < 0,01$).

Pour l'indice de chute « **I.C** » des mélanges de farines mesuré il présente des corrélations significatives et positives avec le taux en protéines totales ($r = 0,866$, $p < 0,01$), en lipides ($r = 0,887$, $p < 0,01$), et en glucides ($r = 0,887$, $p < 0,01$). Mais pour ce même paramètre une corrélation négative est obtenue avec la teneur en gluten sec ($r = -0,628$, $p < 0,05$).

III.3) Etude des Biscuits

Le biscuit est une matrice vitreuse moulée par les sucres (saccharose en particulier) et remplie par l'amidon, le gluten et la matière grasse. Sa structure se compose d'un réseau formé par l'amidon et les protéines, et où la matière grasse vient remplir les interstices de la structure rigide aérée (FLINT *et al* , 1970 ; CHEVALLIER, 1998).

Les biscuits réalisés, les aspects extérieurs des biscuits obtenus sont représentés dans les figures de l'Annexe 05.

III.3.1) Etude des caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques des biscuits obtenus sont mentionnés sur le **Tableau 28**. L'analyse des résultats montre que le poids des biscuits a augmenté à partir d'un taux de 7% de farine de germe de blé incorporé, en effet il passe de 16,38 g pour le témoin à 18,11 g pour les biscuits à 10% de farine de germe de blé. Les valeurs obtenues sont dans l'ensemble acceptables.

L'incorporation de farine de germe de blé fait aussi augmenter le diamètre des biscuits, de 6,65cm pour les biscuits à 0% de farine de germe de blé on passe à 6,83 cm pour les biscuits à 8% de farine de germe de blé. Une légère augmentation est aussi notée de l'épaisseur des biscuits. De 0,93 cm pour les biscuits de 0% de farine de germe de blé on atteint 0,99 cm pour ceux enrichis à 10%.

	B. 0%	B.1%	B.2%	B.3%	B.4%	B.5%	B.6%	B.7%	B.8%	B.9%	B.10%
Poids du Biscuit (g)*	16,38	16,25	16,30	16,18	16,40	16,42	16,33	17,61	16,10	16,52	18,11
Diamètres (cm)*	6,65	6,64	6,65	6,67	6,74	6,75	6,74	6,76	6,83	6,78	6,76
Epaisseur (cm)*	0,93	0,93	0,94	0,93	0,91	0,94	0,92	0,95	0,93	0,96	0,99
Volume (cm ³)*	32,28	32,19	32,53	32,48	32,45	33,62	35,66	35,76	33,95	34,65	35,51
Étalement (%)*	4,64	4,34	4,34	5,26	7,51	7,83	3,08	7,81	10,07	8,80	8,14
Poids de cinq Biscuits (g)*	78,99	78,10	78,80	76,60	78,00	77,79	77,04	93,60	81,06	86,00	89,26
Epaisseur de cinq Biscuits (cm)*	4,60	4,59	4,61	4,66	4,59	4,62	4,57	5,00	4,90	4,95	5,10
Volume de cinq Biscuits (cm ³)*	159,67	158,86	159,5	162,73	163,68	165,26	156,25	178,80	178,90	178,65	182,94
Développement (cm ³ /g)*	2,02	2,03	2,02	2,12	2,10	2,12	2,03	1,91	2,23	2,08	2,05
Surface (cm ²)*	34,71	34,61	34,61	34,92	35,66	35,77	34,19	35,76	36,51	36,09	35,87

Tableau 28 : Résultats d'analyse physique des biscuits.

B. % : Biscuit de 0 % à 10% de farine de germe de blé.

(*) : Moyenne de cinq essais.

L'étalement du biscuit double pratiquement lorsque on passe de la farine témoin à celle incorporée à 8% de farine de germe de blé. L'évolution de l'étalement n'est pas proportionnelle au taux d'incorporation de la farine de germe, le plus faible est obtenu pour la farine incorporée à 6%. Tous les biscuits obtenus présentent un bon développement. De 2,02cm³/g pour les biscuits à 0% de farine de germe de blé on obtient plus jusqu'à 2,23cm³/

g pour les biscuits à 8% de farine de germe de blé. Les biscuits incorporés de farine de germe de blé de 1% et 10% de farine de germe de blé sont généralement plus aérés et plus développés que les biscuits non enrichis exception faite pour ceux incorporés à 7%.

Ces changements des caractères physiques au fur et à mesure que le taux de farine de germe de blé augmente dans la formule des biscuits sont dus au changement de la force boulangère de la farine qui devient de plus en plus faible. Une baisse de la qualité et la quantité du gluten peut être aussi un élément pouvant expliquer ce changement dans la qualité des biscuits.

III.3.2) Evaluation sensorielle et traitement statistique

L'analyse sensorielle consiste à étudier de très près. La préférence et l'acceptabilité du produit par un consommateur averti. Cette analyse passe par l'étude des caractéristiques physiques et organoleptiques du biscuit. La qualité nutritionnelle dans ce cas est occultée bien qu'elle soit la principale composante de la notion de qualité d'une matière alimentaire. Cette analyse passe par un certain nombre d'essais de préférence et d'acceptabilité, de différences et de description. Dans notre cas, seuls des essais de préférence et d'acceptabilité ont été retenus. Le jugement du jury sera dicté par son appréciation personnelle des biscuits qui lui sont présentés. Sur la base du nombre de points comptabilisés, par suite de l'appréciation des différents critères organoleptiques, la classification des biscuits (B) enrichis en farine de germe de blé [B. 0 % G.B à B. 10 % G.B] à différents pourcentages de farine de germe de blé est présentée comme suit (**Tableau 29**), classement du moins apprécié au plus désiré.

- B. 0 % G.B = biscuits fabriqués à base de 100 % farine de blé (Témoin).
- B. 1% G.B = biscuits fabriqués à base de farine de blé à 1 % germe de blé.
- B. 2% G.B = biscuits fabriqués à base de farine de blé à 2 % germe de blé.
- B. 3% G.B = biscuits fabriqués à base de farine de blé à 3% germe de blé.
- B. 4% G.B = biscuits fabriqués à base de farine de blé à 4 % germe de blé.
- B. 5% G.B = biscuits fabriqués à base de farine de blé à 5 % germe de blé.
- B. 6% G.B = biscuits fabriqués à base de farine de blé à 6 % germe de blé.
- B. 7% G.B = biscuits fabriqués à base de farine de blé à 7 % germe de blé.
- B. 8% G.B = biscuits fabriqués à base de farine de blé à 8 % germe de blé.
- B. 9% G.B = biscuits fabriqués à base de farine de blé à 9 % germe de blé.
- B. 10% G.B = biscuits fabriqués à base de farine de blé à 10 % germe de blé.

La plupart des membres de jury ont approuvé les biscuits enrichis en germe de blé par apport au biscuit non enrichi.

L'ordre de préférence des biscuits suit de très près l'augmentation du taux d'incorporation de la farine de germe de blé. Les modifications de la couleur de la croûte, de l'arôme et la saveur générée au cours de la cuisson seraient la principale cause.

L'apparition d'un léger goût de noisette détecté au delà de 4% d'incorporation a fait que l'appréciation par le jury était meilleure.

Ce goût agréable est la conséquence de la genèse d'un certain nombre de molécules au cours de la cuisson. Ces molécules néoformées qui proviennent de réactions non enzymatiques seraient issues d'une transformation des sucres par caramélisation, d'une auto-oxydation des lipides ou par interaction des sucres avec certaines acides amines de type basiques ou avec des peptides (Réaction de Maillard)

Echantillons	Critères d'appréciation et notes							Qualités globales totales/100
	Couleur de la croûte (/10)	Forme (/10)	Densité (/20)	Friabilité (/20)	Texture (/10)	Arôme (/10)	Saveur (/20)	
B. 0 % G.B	6,93	7,36	17,71	14,57	7,00	8,00	15,78	77,35
B.1% G.B	7,00	7,43	17,79	14,64	7,00	8,07	15,78	77,71
B.2% G.B	6,93	7,43	17,64	14,78	7,00	8,21	15,78	77,77
B.3% G.B	7,14	7,64	17,36	14,93	7,21	8,28	16,00	78,56
B.4% G.B	7,50	7,93	17,14	15,43	7,43	8,35	16,28	80,06
B.5% G.B	7,64	7,93	16,71	16,00	7,57	8,50	16,57	80,92
B.6% G.B	8,07	8,07	16,28	16,64	7,71	8,78	17,00	82,55
B.7% G.B	8,64	8,21	16,28	17,14	8,21	8,78	17,43	84,69
B.8% G.B	9,07	8,36	16,14	17,50	8,43	8,78	17,57	85,85
B.9% G.B	9,28	8,43	16,14	17,78	8,57	8,78	17,57	86,55
B.10% G.B	9,50	8,43	16,14	17,93	8,57	8,78	17,64	86,99

Tableau 29 : Comparaisons globale de la qualité des biscuits fabriqués avec les mélanges de farines (Les moyennes sont comparées verticalement).

Le jury est composé de 14 personnes.

L'étude de l'effet de la farine de germe sur les différentes caractéristiques organoleptiques des biscuits par la méthode de comparaison multiple des moyennes des groupes homogènes (test de NEWMAN-KEULS) laisse apparaître des différences hautement significatives entre les biscuits (B 0% G.B, B 1% G.B,.....B10% G.B) que ce soit pour la qualité générale des biscuits, la couleur de la croûte, la densité, la friabilité, la texture, l'arôme et la saveur. Pour ce qui est de la forme, elle est non significative ($P = 0,0003$).

Afin de montrer l'influence de l'incorporation de farine de germe de blé sur la qualité général des biscuits, nous avons établi, ci-dessous, par ordre croissant le classement général des biscuits (basé sur le totale des notes moyennes comptabilisées)

1. B. 0 % G.B
2. B. 1 % G.B
3. B. 2 % G.B
4. B. 3 % G.B
5. B. 4 % G.B
6. B. 5 % G.B
7. B. 6 % G.B
8. B. 7 % G.B
9. B. 8 % G.B
10. B. 9 % G.B
11. B. 10 % G.B

Ce classement fait apparaître une meilleure préférence pour les biscuits enrichis en farine de germe de blé par rapport à leurs homologues non enrichis.

L'étude statistique des effets de l'enrichissement en farine de germe de blé sur les différents critères organoleptiques nous a permis de tirer les conclusions suivantes : Tableaux N° : 30A, 30B, 30C,.....30F.

Sur la Couleur de la croûte :

La couleur est un paramètre très important dans l'acceptation des produits céréaliers son apparition commence vers les dernière étapes du processus de cuisson.

Le développement de la couleur est le résultat de nombreuses réactions complexes du type réaction de Maillard ou caramélisation (CHEFTEL et CHEFTEL, 1977) distinguant deux étapes lors du développement du brunissement non enzymatique.

La première étape consiste en la formation de composés réactifs (aldéhydes, cétones, composés dicarbonylés, etc. ...) issus soit de la dégradation des sucres par caramélisation, soit de la réaction intermédiaire de Maillard. Ces composés absorbent à 280 nm et peuvent être considérés comme des précurseurs de la couleur. Ils polymérisent dans un deuxième temps sous l'effet de la chaleur et de la perte en eau. Ces polymères sont bruns et appelés mélanoidines lorsque les précurseurs sont issus de la réaction de Maillard, ou caramel lorsqu'ils sont issus de la dégradation des sucres sans implication des amines. Le rapport azote sur carbone des polymères est un bon indicateur de la contribution de la réaction de Maillard dans le processus de brunissement. Ces réactions sont fonction de plusieurs paramètres liés au processus de cuisson tels que la température et l'humidité mais sont aussi très sensible aux composés de la formulation.

Dans le cas de la couleur de la croûte (voir figures en Annexe 05), la variation globale inter-biscuit s'avère hautement significatif ($P=0,000$). Cette analyse nous à permis pour ce caractère de détecter cinq groupes homogènes.

Les biscuits enrichis à 10%, 9% et 8% de farine de germe de blé appartiennent au groupe (G1), ceux enrichis à 8% et 7% appartiennent au (G2). Les biscuits à 6 et 5% de farine de germe de blé se retrouvent dans le (G3), par contre les biscuits à 5, 4, et 3% de germe de blé appartiennent au (G4), alors que le groupe homogène (G5) renferme ceux enrichis à 4, 3, 2 et 1% de germe de blé ainsi que le témoin.

Sur la friabilité :

Elle est un paramètre qu'on peut mesurer physiquement. Son importance est de taille pour la biscuiterie. La variation globale entre les biscuits est hautement significative ($P=0,000$).

L'étude statistique montre cinq groupes homogènes. Les biscuits enrichis à 10%, 9% et 8% de Farine de germe de blé appartiennent au groupe (G1), ceux enrichis à 8% et 7% de farine de germe de blé appartiennent au (G2), les biscuits à 6 et 5% de farine de germe de blé se retrouvent dans le (G3), par contre les biscuits à 5, 4, et 3% de germe de blé appartiennent au (G4), le groupe homogène (G5) renferme ceux enrichis à 4, 3, 2 et 1% de germe de blé ainsi que le témoin.

Sur la Texture :

(CHEVALLIER, 1988 ; CHEVALLIER et COTONNA, 2002) ont démontré en effet que ni l'agrégation protéique (débutant à 85°C dans le cas des biscuits petit beurre) ni la gélatinisation de l'amidon qui, dans le cas des biscuits est limitée en raison de la faible teneur en eau (à des températures inférieures à 100°C), n'ont d'effets sur le développement de la texture finale du biscuit. Selon eux, c'est plutôt le sucre fondu durant le processus de cuisson qui retrouve un état vitreux lors du refroidissement et participe de façon active au développement de la texture particulière du biscuit et à la cohérence des agrégats constitutifs.

L'analyse de ce paramètre montre que la variation entre les biscuits est hautement significative (P=0,000). L'analyse statistique laisse apparaître deux groupes homogènes (G1 et G2). Les biscuits enrichis à 10, 9 et 8 % de farine de germe de blé appartiennent au (G1) alors que ceux enrichis à 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2,1 % de germe de blé et le témoin forment le groupe (G2).

Sur la forme :

Pour ce paramètre, l'analyse na montre aucune signification, la variation inter-biscuit est non significative (P=0,003) pour tous les biscuits (tous les biscuits ont pratiquement la même forme).

30A Croûte		Les groupes homogènes				
Biscuits incorporé au germe de blé à différentes doses	G1	G2	G3	G4	G5	
11	a					
10	a					
9	a	b				
8		b				
7			c			
6			c	d		
5				d	e	
4				d	e	
2					e	
1					e	
3					e	

d.d.1 = 143

30 B Friabilité		Les groupes homogènes				
Biscuits incorporé au germe de blé à différentes doses	G1	G2	G3	G4	G5	
11	a					
10	a					
9	a	b				
8		b				
7			c			
6			c	d		
5				d	E	
4				d	E	
2					E	
1					E	
3					E	

d.d.1 = 143

a, b, c, d, e : des lettres différentes désignent des groupes de moyennes différentes au test de Newman-keuls (p<0,01).

30 C Texture		Les groupes homogènes	
Biscuits incorporé au germe de blé à différentes doses	G1	G2	
11	a		
10	a		
9	a	b	
8		b	
7		b	
6		b	
5		b	
4		b	
2		b	
1		b	
3		b	

d.d.1 = 143

30 D Densité		Les groupes homogènes		
Biscuits incorporé au germe de blé à différentes doses	G1	G2	G3	
11	a			
10	a			
9	a	b		
8		b		
7			C	
6			C	
5			C	
4			C	
2			C	
1			C	
3			C	

d.d.1 = 143

30 E Saveur		Les groupes homogènes	
Biscuits incorporé au germe de blé à différentes doses	G1	G2	
11	a		
10	a		
9	a	b	
8		b	
7		b	
6		b	
5		b	
4		b	
2		b	
1		b	
3		b	

d.d.1 = 143

30 F Arôme		Les groupes homogènes	
Biscuits incorporé au germe de blé à différentes doses	G1	G2	
11	a		
10	a		
9	a	B	
8		B	
7		B	
6		B	
5		B	
4		B	
2		B	
1		B	
3		B	

d.d.1 = 143

a, b : des lettres différentes désignent des groupes de moyennes différentes au test de Newman-keuls (p<0,01).

Tableaux N°30 : Analyse de la variance (Test de Newman-keuls) des 7 variables caractérisant les biscuits frais : croûte, friabilité, texture, arôme, saveur et densité

Sur la densité :

La densité est une caractéristique mesurable physiquement, son étude a montré une variation inter-biscuit hautement significative (P=0,000). L'analyse statistique a permis d'identifier en plus trois groupes homogènes. Les biscuits à 10, 9, 8 % de farine de germe

de blé appartiennent au G1 ceux à 8 et 7% de farine de germe de blé forment le G2, le reste (à 6, 5, 4, 3, 2, 1% de farine de germe de blé) et le témoin constituent le groupe G3.

Sur l'arôme :

L'arôme des biscuits, qui est représenté par un ensemble de composés volatils odorants au niveau de la croûte et de la mie, se forment généralement au niveau de la cuisson. Ces composés volatils sont le résultat d'un certain nombre de réactions non enzymatiques touchant essentiellement les sucres et la matière grasse. Les sucres sont transformés soit en caramel soit en dérivés furfuraux (H.M.F, M.F, F) qui peuvent évoluer pour donner des composés carbonylés et dicarbonylés.

Pour la matière grasse, elle subit une peroxydation pour donner dans une deuxième phase des hydroperoxydes. Avec le temps et la chaleur, les hydroperoxydes se dégradent et gênent une multitude de composés volatils et de saveurs telles que 2-4-Decadienal, l'hexanal, l'heptanal, le 2-octenol et l'acide 2 octenoïque.

L'analyse de ce facteur montre une variation inter-biscuit très significative ($p=0,000$) La comparaison des biscuits a permis de discerner 2 groupes G1 et G2 ; Le premier groupe est représenté par les biscuits aux taux de 8,9 et 10 % ; Le témoin et les autres biscuits composent le groupe 2 ;

Sur la saveur :

Cette caractéristique est difficile à percevoir et à décrire car la sensibilité des papilles gustatives est différente lorsqu'on passe d'une personne à une autre. Ceci a fait que le test est considéré comme très subjectif. Une variation globale inter-biscuit est hautement significative ($P=0,000$). Des différences significatives sont observées entre les biscuits enrichis de farine de germe de blé à 10, 9 et 8% et ceux à 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 % de Farine de germe de blé ainsi qu'avec les biscuits témoins (non enrichi).

III.3.3) Qualité générale des biscuits

Sur la base de tous ces critères, l'analyse de la qualité générale a montré une variation inter-biscuits hautement significative et la comparaison des biscuits au test de NEWMAN-KEULS laisse entrevoir des différences significatives entre les biscuits enrichis et leurs homologues non enrichis.

L'appréciation de la qualité globale des biscuits enrichis en farine de germe de blé avec leurs homologues non enrichi est liée à une modification de la couleur de la croûte, de la saveur, de l'arôme, de la texture et de la friabilité ainsi que la densité spécifique. Pour la forme du biscuit aucune différence significative n'a été observée.

On signalera, qu'en plus du goût et de l'odeur agréable de la noisette beurrée générés par l'incorporation de farine de germe de blé tendre, les biscuits se caractérisent par l'apparition d'une surface lisse et une bonne couleur par rapport au biscuit témoin. Cet effet devient beaucoup plus perceptible lorsque le taux d'incorporation dépasse les 5%.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, sur l'effet du germe de blé sur une farine à tendance biscuitière, nous avons tiré les conclusions suivantes :

-Les analyses biochimiques effectuées sur la farine de germe de blé nous ont permis de révéler : une fraction protéique avec un taux de 31,05% MS, une composante glucidique à 24,55% MS, des minéraux avec une teneur de 2,66% MS et des lipidiques avec un pourcentage en matière sèche de 10,08 %.

Sur la base des résultats obtenus dans cette étude, il ressort que l'incorporation de la farine de germe de blé à une farine à tendance biscuitière entraîne des modifications biochimiques, technologiques et organoleptiques qui auront un impact sur la qualité technologique, biochimique et organoleptique des farines issues des mélanges et sur la qualité globale du produit fini (biscuits).

La nature et l'amplitude de ces modifications sont alors fonction de la matière première mise en œuvre (farine de germe blé) et du taux de substitution de la farine.

L'étude des différents mélanges a montré que l'utilisation de la farine de germe de blé a affecté sa qualité technologique par un appauvrissement en gluten. Cet état est recherché généralement pour tous les types de farines biscuitières.

A la lumière des résultats obtenus à l'essai de l'alvéographe Chopin et au farinographe de BRABENDER, on a constaté que les farines des mélanges substituées à **5 %** de farine de germe de blé sont beaucoup plus proches des normes requises pour les farines biscuitières. Ce mélange présente une force boulangère caractérisée par un $W=75.10^{-4}$ J, un $P/L =0,57$, un $G=18,7\text{cm}^3$, et un taux d'absorption de 56,30%.

L'incorporation de la farine de germe nous a permis aussi de constater que cette supplémentation influe sur l'extractibilité du gluten qui est observé lors du moulage car la quantité du gluten est d'autant plus faible que le taux d'incorporation de la farine de germe de blé est élevé. Ceci est très visible lorsque le taux est supérieur à 5 %. Son taux en gluten sec dans les mélanges à 5% est de 8,19 % MS, ce correspond aussi aux normes des farines biscuitières.

Lors du test d'appréciation de la qualité organoleptique le traitement statistique, a montré que les biscuits enrichis en farine de germe de blé se caractérisent par un très bon goût, une bonne couleur, et une odeur caractéristique et agréable. Pour l'analyse des caractères physiques les biscuits de mélanges montrent un très bon développement. L'utilisation des farines à base de germe de blé tendre ont permis aussi d'améliorer la valeur nutritionnelle des biscuits en apportant des protéines (Compenser dans une certaine mesure le facteur limitant la digestibilité protéique : lysine), des lipides, des glucides, des minéraux, des fibres alimentaires et des vitamines.

Des résultats obtenus, il en ressort que substituer de la farine de blé tendre par celle du germe de blé stabilisé, dans notre cas thermiquement a touché trois objectifs :

-une valorisation du germe de blé, par la minoterie s'est il est récupéré ce qui va améliorer son potentiel économique.

-une amélioration de la qualité physique et nutritionnelle des biscuits.

-une correction des farines à tendance boulangère généralement et qui sont subventionnées par l'état pour qu'elles répondent au cahier de charges des farines destinées à la biscuiterie.

En perspective, il serait souhaitable de :

-Valoriser ces quantités importantes de germe de blé et de mettre en œuvre le procédé de stabilisation le plus adapté pour une bonne stabilité du germe de blé.

- Etudier les différents procédés de stabilisation du germe de blé.

- Etudier et suivre la qualité biochimique et nutritionnelle des biscuits fabriqués à base de germe de blé à des taux plus faibles ou plus élevés.

- Faire une étude économique sur le coût du produit fini.

- Fabriquer une gamme de produits à base de farine de germe de blé en particulier pour les personnes ayant une intolérance au gluten (biscuit diététique)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBOUD A.M., HOSNEY R.C., and RUBENTHALER G.L. (1985b).** Factors affecting cookie flour quality. *Cereal Chem.*62 (2). pp 130-133.
- ABBOUD A.M., RUBENTHALER G.L., and HOSNEY R.C. (1985a).** Effect of fat and sugar in sugar-snap cookies and evaluation of tests to measure cookie flour quality. *Cereal Chem.*62 (2). pp 124-129.
- ACHEM H., et HADJARI F. (2000).** Effet d'incorporation du son de blé tendre sur les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques d'une farine de panification. Mémoire d'ingénieur d'état en science agronomique de Mascara. pp 145.
- ADRIAN J. (2004).** La composition du germe de blé et sa valeur nutritionnelle. *Ind des céréales* N°137. Avril/mai. pp 9-13.
- ADRIAN J., FRAGNE R. (1995).** La science alimentaire de A # Z. Ed .Tec et Doc Lavoisier. p 477.
- AL-KAHTANI A. (1989).** Studies of Saudi Arabian locally produced wheat germ. *Food chemistry*, vol: 34, pp 121-130.
- ANONYME. (2007).** Données statistiques du ministère de l'agriculture.
- ARNAUD P. (1985).** Cours de chimie organique. Ed. Gautier Villars.
- ARSHAD M.U., ANJUM F.M., and ZAHOOR T. (2007).** Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food Chemistry* (102). pp123-128
- BAJAJ M., KAUR A., and SIDHU J.S. (1991).** Studies on the development of nutritious cookies utilizing sunflower kernels and wheat germ. *Plant Foods for Human nutrition* (41). pp 381-387.
- BARNES P. J. (1982).** Composition of cereal germ Preparations. *Lebensmittel-untersuchung und-forschung*, 174: 467-471.
- BARNES P.J. (1983).** Wheat germoil, Lipids in cereal technology, pp389-400.
- BERLAND S., et ROUSSEL P. (2005).** Les pains français : qualité technologique. Paris, ENSMIC. p. 1-16.
- BRANLARD G. et LE BLANC A. (1985).** Les sous unités gluténines de haut poids moléculaire des blés tendres et des blés dur cultivés en France. *Agronomie* 5 :467-477.
- BRANLARD G., PIERRE J., and ROUSSET M. (1992).** Selection indices for quality evaluation in wheat. *Breeding. Theoretical Applied Genetics* **84**, 57-64.
- BRANLARD G., FELIX I., LEBLANC A., KOENIG J., BODET C., MARION D., et MAHAUT B. (1997).** La dureté des blés sélectionnés en France: évolution et conséquences. *Ind des céréales*, N° 101. pp 5-10.
- BURE J., et GUINET R. (1977).** Le pain de demain. *Industrie Alimentaires et agricoles*. N°10, sept-oct. pp 1005-1006.
- BRENNEIS L.S. (1965).** Qualitative factors in the evaluation of cookies flours. *Baker's Digest*, Février. pp 6-69.
-

- BENOUALID K. (1987).** Valeur biscuitière des blés tendres point sur les études en cours au CTUC. Ind. des céréales. N°45. pp 17-33.
- BIARNAIS J.P. (1987).** Critère de choix des Farines en Biscuiterie Industrielle. Ind. des céréales. N° 45. pp 35-37.
- BLANCHARD L., et ADRIAN J. (1988).** Nature et rôle physiologique des hémicelluloses. Ind. des céréales, N[#] 55, 11-42.
- BOUDRREAU A., et MENARD G. (1993).** Le blé. Elément fondamentaux et transformation. Ed les presse de l'université Laval, Québec Canada. p442.
- BOURSON Y. (2009).** Mouture de blé tendre et technique d'obtention de la farine. Technique de l'ingénieur. Décembre F6 175-1.
- CHABANE R., et TERRACHE N. (2000).** Extraction et caractérisation physico-chimique de l'huile de germe de blé. Thèse d'ingénieur, INA.
- CHARUN E.P.J., et MOREL M.H. (2001).** Quelles caractéristiques pour une farine biscuitière ? Influence de la dureté des blés et de la composition biochimique des farines sur leur aptitude biscuitière. Ind. des céréales. N°125. Nov/dec. pp 2-16.
- CHEFTEL J., et CHEFTEL H. (1977).** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments vol (1). Paris , Lavoisier Tech et doc. 381p.
- CHEVALLIER S. (1989).** Modifications structurales des pâtes biscuitières au cours de la cuisson. Thèse Doctorat E .N .S .I .A .A .200 pages.
- CHEVALIER S., et COTONNA P. (2000).** Contribution of the major ingredients during baking of biscuit dough system. Journal of cereal science. (31). pp 241-251.
- CHUNG O.K., POMERANZ Y., and FINNEY K.F. (1978).** Wheat flour lipids in breadmaking. Cereal Chem., 55, pp 589-618.
- CHUNG O.K., and POMERANZ Y. (1981).** Recent research on wheat lipids. Bakers Dig. 55 (5), pp 38.
- CLAVEL R. (1980).** La boulangerie moderne. Ed eyrolles Paris. p 460.
- COLAS A. (1991).** Définition de la qualité des farines pour les différentes utilisations. In : Les industries de première transformation des céréales, **GODON B. , et WILLM C.,** Éd. Tec. et doc. Lavoisier, Paris, pp. 579-589.
- COLL E.W., MECHAM D.K., and PENCE J.W. (1960).** Effect of flour lipids and some lipid derivatives on cookie baking characteristics of lipid-free flours. Cereal.chem.37:109.
- CONTAMINE A.S., ABECASSIS J., MOREL M.H., VERGNES B., and VEREL A. (1995).** Effect of mixing conditions on the quality of dough and biscuits. Cereal Chem.72(6). pp 516-522.
- C.T.U.C. (1983).** Valeurs biscuitiers des variétés des blés tender. Ind. des céréales. N°22. pp27-36.
- CUNING B.Y., MERC IER C., et GUILBOT A. (1977)** composition glucidique du blé . Annal Technol. Agric. 26(1). pp 79-115.
- DANGOUMOU (1960).** Contribution # l'étude des matières grasses des farines de froments. Ed DUNOD.
- DARDENNE P., LENARTZ J., MASSAUX C., SINNAEVE G., SINDIC M., BODSON B., FALISSE A., DEROANNE C., and DELCOUR J-A. (2003).** *The relationship between Hagberg falling number, a -amylase activity of wheat grains and the*

- wholemeal pasting properties determined by the Rapid Visco Analyser*. Starch functionality with the RVA. European Seminar Practical and Theoretical Workshop – 25-26 mars – Amsterdam, the Netherlands.
- DEXTER J. E., PRESTON K. R., MARTIN D. G., and GANDER E. J. (1994)**. The effects of protein content and starch damage on the physical dough properties and bread-making quality of Canadian durum wheat. *Journal of cereal science*, vol: 20, N°2, pp 139-151.
- DUBAT A. (2004)**. Importance de l'endommagement de l'amidon et évolution des méthodes de mesure. *Ind. des céréales* N°137. Avril /Mai. pp 2-6.
- DUBOIS M. (1996)**. Le contrôle qualité La panification française. In : *La panification française*, **GODON R., ROLAND G.**, Tec et doc Lavoisier. Ed Masson. pp. 507-520.
- DUBOIS M. (1987)**. Contribution de la rhéologie empirique à la détermination de la qualité des blés et des farines dans le monde : l'Alvéographe Chopin .*Ind.des céréales*, N°53. pp 37-52.
- DUBOIS M. (1988a)**. Contribution de la rhéologie empirique à la détermination de la qualité des blés et des farines dans le monde. *L'Alvéographe Chopin*. *Ind. des céréales*. N°53. pp 15-26.
- DUBOIS M. (1988b)**. Contribution de la rhéologie empirique à la détermination de la qualité des blés et des farines dans le monde. *L'Alvéographe Chopin*. *Ind. des céréales*. N°55. pp 37-42.
- DRAPRON R., N'GUYEN X., and GUILBOT A. (1969)**. Development and distribution of wheat lipase activity during the course of germination. *Cereal Chemistry* N°46. pp 647-655.
- DOBRSZCZYK B. J. (2004)**. Wheatdough rheology. pp 400-416. In: *Encyclopedia of grain science*. Elsevier.
- ECM FM. (1996)**. Quel blé pour tendre pour la biscuitière?. *Process* N°1116. pp54-55.
- EUROGERME. (2009)**. Les principaux paramètres et le rôle des de la qualité de la farine et correcteurs de meunerie. **RESAGRO**.N°4, septembre. pp42-45.
- F.A.O.STAT. (2008)**. *FAO agricultural statistics*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (<<http://faostat.fao.org>>).
- FEILLET P. (1976)**. Les albumines et globuline du blé. *Ann technol.agric*.25 (2), pp 203-216.
- FEILLET P. (1980)**.Wheat proteins evaluation measurement of wheat quality. In : recent progress in cereal chemistry and technology. **INGLETT G., and MUNCK. M.**,Academy press, New York. pp.198-200.
- FEILLET P. (2000)**. Le grain de blé composition et utilisation .INRA paris. p308.
- FLINT O., MASS R., and WADE P A. (1970)**. Comparative study of the microstructure of differents types of biscuits and their doughs . *Food trade review* (40). pp 32-39.
- FUSTIER P.J. (2006)**. Influence des fractions de mouture de blé tendre (Farines patente, de-coupure et basse) sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits. Thèse doctorat université Laval QUÉBEC.
- GAINES C.S. , DONELSON J.R., and FINNEY P.L. (1988)**. Effects of damaged starch, chlorine gaz, flour particle size, and dough holding time and temperature on cookie dough handling proprieties and cookie size.*Cereal.Chem*.65(5). pp 384-389

- GAINES C.S. (1990).** Influence of chemical and physical modification of soft wheat protein on sugar-snap cookie dough consistency, cookie size, and hardness. *Cereal.Chem.*67 (1). pp 73-77.
- GAINES C.S., and FINNEY P.L. (1992).** Instrumental measurement of cookies hardness applications to product quality variables. *Cereal Chem.* (69). pp 120-125.
- GAUTIER F., 1961.** Technique d'analyse bromatologiques. Ed SEDES.
- GANZ Z., ELLIS P. R., SHOFIELD J. D. (1995).** Gas cell stabilization and gaz retention in wheat bread dough. *Journal of Cereal science*, 21:215-230.
- GAUVARD C., DE LIBERA A., et ZINK M. (2002).** Dictionnaire du Moyen Age : « famine », Presse Universitaire de France, « céréaliculture », Paris. P.239-240.
- GENOT C., DRAPRON R., et BADILLIAN B. (1984).**Lipides libre et liés de farines de blé tendre. *Sci.Aliments.*, 4, pp. 631-657.
- GEOFFROY (1950).** Composition chimique et biologique du grain de blé et de la farine. Le blé, La farine, Le pain, 2^{eme} Ed. DUNOD.
- GUIERRE G. (1967).** Alimentation et diététique dans la vie moderne .Ed le courrier du livre.
- GREBAUT J. (1984).** Valeurs biscuitières des variétés de blé tendre de la campagne 1983. *Ind des céréales* N° 27. pp 45-52.
- GODON B., WILLM C. (1991).**Biotransformation des produits céréaliers : les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs. Paris, Lavoisier. p. 1-22. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires).
- GODON B., WILLIM C. (1991).** Les industries de première transformation des céréales, Ed. Lavoisier, 679p.
- GODON R., ROLAND G. (1996).**La panification française. Tec et doc Lavoisier. Ed Masson. p525.
- GODON B., LOISEL W. (1997).**Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales : tests de laboratoire. Paris, Lavoisier. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires). p679.
- HERVIEU B., CAPONE R., ABIS S., 2009.** L'enjeu céréaliers en méditerranée.les notes d'analyse de CIHEAM N°09 Mai
- HETTIARACHCHY N. S., GRIFFIN V. K., and GNANASAMBANDAM R. (1996).** Preparation and functional proprieties of proteins isolate from defatted wheat germ. *Cereal Chemistry*, vol: 73.N°3, pp 259-262.
- IBANOGLU E. (2002).** Kinetic study on colour changes in wheat germ due to heat.*Journal of Food Engineering* (51). pp 209-213
- KALDY M.S., RUBENTHALER G.I., KERELIUK G. R., BERHOW M.A., and VANDERCOOK C.E. (1991).** Relationships of selected flour constituents to backing quality in soft white wheat. *Cereal Chem.*68 (5). Pp 508-512.
- KAPRANCHIKOV V. S., ZHEREBTSOV N. A., and POPOVA T .N. (2004).**Purification and Characterization of Lipase from Wheat (*Triticum aestivum* L.) germ.*Applied biochemistry and microbiology*, vol.40 N 1. pp 84-88.
- KARWOWSKA K. and KOSTRAZEWA E. (1988).** A new technology for production of valuable vitamin extract from wheat and rye germ. *Die Nah-rung*, vol: 32, N°5, pp 491-495.

- KEHAL N. (2010). O.I.A.C., juillet.
- KIGER .J.L et KIGER .J.G. (1967).** Techniques modernes de la biscuiterie pâtisserie-boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. DUNOD –Paris.
- KISSEL L.T., POMERANZ Y., and YAMAZA KI W.T. (1971).** Effects of flour lipids on cookie quality. *Cereal Chem.* (48) : 655, pp 35-37.
- KITTISSOU P., 1995.** Un nouveau paramètre alvéographique : l'indice d'élasticité (IC). *Ind. des céréales.* pp 9-17.
- KRINGS U., EL-SAHARTY Y. S., EL-ZEANY B.A., PABEL B., and BERGER R.G. (2000).** Antioxidant activity of extracts from roasted wheat germ. *Food Chemistry* (71). pp 91-95
- LABUSHAGNE M.T., BROOKS COETZEE M.C., and DEVENTER C.S. (1996).** Biscuit-making quality prediction using heritability estimates and correlations. *Journal.Sci.food.Agric.* (70) .pp25-28.
- LAUNAY B., BARTOLUCCI J.C. (1997).** Comportement rhéologique des pâtes et des produits finis. In : Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales, **GODON B., LOISEL W., Ed.,** TEC et doc. Lavoisier, Paris, pp. 123-131.
- LEBET V. (2004).** Utilisation industrielle du germe de blé. Importance de la stabilisation. *Ind des céréales N°137.* avril/mai. pp 14-16.
- LEENHARDT F., LYAN B., ROCK E., B OUSSARD A., POTUS J., CHANLIAUD E., and REMESY C. (2006).** Wheat Lipoxygenase Activity Induces Greater Loss of Carotenoids than Vitamin E during Breadmaking. *Journal. Agric. Food Chem.,* 54. pp 1710-1715.
- LEVYL L., SCHWAERZEL R., et KLEIJER G. (2009).** Influence de la fumure azotée sur la qualité des blés biscuitiers. *Revue suisse d'agriculture aout.* vol 41(n#5), pp 277-282
- MACRITCHIE F., DUCROS D. L., and WRIGLEY C. W. (1990).** Flour polypeptides related to wheat quality. *Adv. Cereal Sci. Technol.,* 10:79-145.
- MAUZE C., RICHARD M., et SCOTTI G. (1972).** Guide pratique de l'institut technique des céréales et des fourrages : Contrôle de la qualité des blés. Paris, 176p.
- MANLY D. (1998).** Biscuits, cookies and crackers manufacturing manuals. Edition CRC 2000, word head publishing limited, Cambridge, England. pp-15-20.
- MRIDULA D., GUPTA R.K., and MANIKANTAN M.R. (2007).** Effect of Incorporation of Sorghum Flour to wheat flour on Quality of Biscuits Fortified with Defatted Soy Flour. *American journal of food technology.* Vol: 2, issue :5. pp 428-434.
- NEMETH L.J., WILLIAMS P. C., and BUSHUK W. (1994).** A comparative study of the quality of soft wheat from Canada, Australia and United States. *Cereal food World* 39(9). Pp 691-700.
- NESSAH N. (1998).** Extraction et caractérisation du germe de blé: Application en diététique. Thèse d'ingénieur. Blida.
- NURET H. (1989).** Extraction de germe de blé. *Ind des céréales.* N°59. Mai/juin. pp7-12.
- NURET H. (1991).** Lamouture de blé tendre. In : les industries de premières transformations des céréales. **GODON B., WILLM C., Ed** Lavoisier Paris, Tec& Doc, pp 333-361.
- NOVAK M.H. (2004).** Valorisation non alimentaires des céréales. pp10-22. Document farr-wal, faculté universitaire des services agronomiques de Gembloux.

- UDIN J.F. (1998).** La fertilisation azotée pour le blé. Cultivar, N°442 /mai.
- OLEWNIK M.C., and KULP K. (1984).** The effect of mixing time and ingredient variation on farinographe of cookie dough's. Cereal Chem. (61). pp 532-537.
- PINARLI I., IBANOGLU S., and ÖNER M.D. (2004).** Effect of storage on the selected properties of macaroni enriched with wheat germ. Journal of Food Engineering (64). pp 249-256
- POMERANZ Y., 1988.** Composition and functionality of wheat flour components in « wheat: chemistry and technology »AACC (Ed) St Paul , Minnesota SS121- USA.pp 219-370.
- POSNER E. S., and LI Y.Z. (1991).** A Technique for Separation of Wheat Germ by Impacting and Subsequent Grinding. Journal of cereal science, 13. pp 49-70.
- PRESTON K., R., LUKOW O. M., and MORGAN B. (1992).** Analysis of relationships between flour quality properties and protein fractions in a world wheat collection. Cereal chemistry, 69(5):560-567.
- RENARD C., THERY S. (1998).** Détermination des méthodes physico-chimiques pour prédire la qualité biscuitière et boulangère des blés français, Ind.des céréales, N°109. pp 31-36.
- RIZZELLO C.G., NIONELLI L., CODA R., DE ANGELIS M., and GOBBETTI M. (2010).** Effect of sourdough fermentation on stabilization, and chemical and nutritional characteristics of wheat germ.Food Chemistry (119). pp 1079-1089.
- ROUSSEL P. (2005).** Analyse et amélioration de la qualité boulangère et biscuitière des farines de blé de la récolte française 2005. Ind.des céréales N°145. Nov/déc. pp 14-16.
- SAI MANOHAR R., and HARIDAS RAO P. (2002).** Interrelation ship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits, use to elastic recovery of dough to predict biscuit quality. Food Research International (35), pp 807-813.
- SANAA Z., et SIDANI B. (1998).**Contribution a l'étude de la variation de la composition biochimique et des aptitudes technologiques de quelques génotypes de blé tendre cultivés dans les stations ITGC de Tiaret et d'El-Khroub. Mémoire D'ingénieur Agronome, INA El-Harrach. Alger.68p
- SANCHEZ H.D., MANLUELLO J.C., et FARRE H.C. (1983).** Essai de panification pour le pain français. Ind. des céréales. N°25. pp 25-33.
- SELSELET A., 1991.** Technologie des céréales et produits dérivés. ITA de Mostaganem, pp 67-110.
- SEYER M.E. (2005).** Les fibres alimentaires et le pain de blé entier. Mémoire maitre de sciences de l'université Laval.
- SHEWRY P.R., TATHAM A.S., and LAZZERI P. (1997).** Biotechnology of wheat gluten. J. Sci. Food. Agric. 73, pp. 397-406.
- SIDHU J.S., AL-HOOTI S.N., and AL-SAQER J. M. (1999).** Effect of adding wheat bran and germ fractions on the chemicals composition of high-fiber toast bread.Food Chemistry (67). pp 365-371.
- SJÖVALL O., VIRTALAINEN T., LAPVETELA`INEN A., and KALLIO H. (2000).** Development of Rancidity in Wheat Germ Analyzed by Headspace Gas Chromatography and Sensory Analysis. Journal. Agric. Food Chem., 48,pp 3522-3527.

- SUDHA M.L., SRIVASTAVA A.K., and LEELAVATHI K. (2007a).** Studies on pasting and structural characteristics of thermally treated wheat germ. *Eur Food Res Technol* (225). pp 351-357.
- SUDHA M.L., VETRIMANI R., and LEELAVATHI K. (2007b).** Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food chemistry*, 100. pp 1365-1370.
- SOLTNER D. (1992).** Les grandes productions végétales. Ed collection sciences et techniques agricoles, p445.
- SURGET A., et BARRON C. (2005).** Histologie du grain de blé. *Ind des céréales* N° 145. Nov/dec. pp 3-7.
- SRIVASTAVA A. K., SUDHA M.L., BASKARAN V., and LEELAVATHI K. (2007).** Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough. *Eur Food Res Technol* (224). pp 365-372.
- SOUZA E., KRUK M., and SUNDERMAN D.W. (1994).** Association of sugar-snap cookie quality with high molecular weight glutenin alleles in soft white spring wheats. *Cereal Chem.*, (71). pp 601-605
- TALAMALI L., (2000).** La libération du marché des céréales en Algérie. *Blé 2000, Enjeux et stratégies* : 11-20.
- TAYLOR. (1980).** The chemical properties of wheat germ oils. *Journal Sci. food. agric.* Vol: 31, pp 997-1006.
- THARRAULT J.F. (1994).** Actualisation d'un test de cuisson biscuitier. *Ind. des céréales* N°87. Aout /sept. pp 36-40.
- WADE P. (1988).** Biscuits, Cookies and Crackers (Vol. 1: the principles of the craft). Elsevier Applied Science, London, UK. 176p.
- WILLM C . (1999).** Le sassage. In : les industries de premières transformations des céréales. **GODON B., WILLM C.,** 2^{eme} édition, Ed Lavoisier Tec& Doc, Paris, pp 227-283.
- WILLM C. (2005a).** Extraction de germe en mouture du blé tendre, 1^{ere} partie : sans sassage. *Ind des céréales*, N°141. Janvier /février/mars. pp 23-35.
- WILLM C. (2005b).** Extraction de germe en mouture du blé tendre, 2^{ere} partie : avec sassage et autres procédés. *Ind des céréales*, N°142. Avil/mai. pp 12-16.
- YAMAMOTO H., WORTHINGTON S.T., HOU G., and PKW N.G. (1996).** Rheological properties and baking quality of selected soft wheat's grown in the United States. *Cereal Chem.*73 (2). pp 215-221.
- YAMAZAKI W.T., DONELSON J.R., and CLEMENTS R.L. (1979).** Note on the effect of bran lipids on cookie quality. *Cereal Chem.* 56(6). pp 584-585.
- YIQIANG G.E., AIDONG S., YUANYING N.I., and TONGYI C. (2001).** Study and development of a defatted wheat germ nutritive noodle. *Eur. Food. Res. Technol.* (212). pp 344-348
- ZHU K., and ZHOU H. (2005).** Purification and characterization of a novel glycoprotein from wheat germ water-soluble extracts. *Process Biochemistry* (40). pp 1469-1474.
- ZHU K. X., ZHOU, H. M., and QIAN H.F. (2006).** Proteins extracted from defatted wheat germ: Nutritional and structural properties. *Cereal Chemistry* (83). pp 69–75.

ANNEXE 01

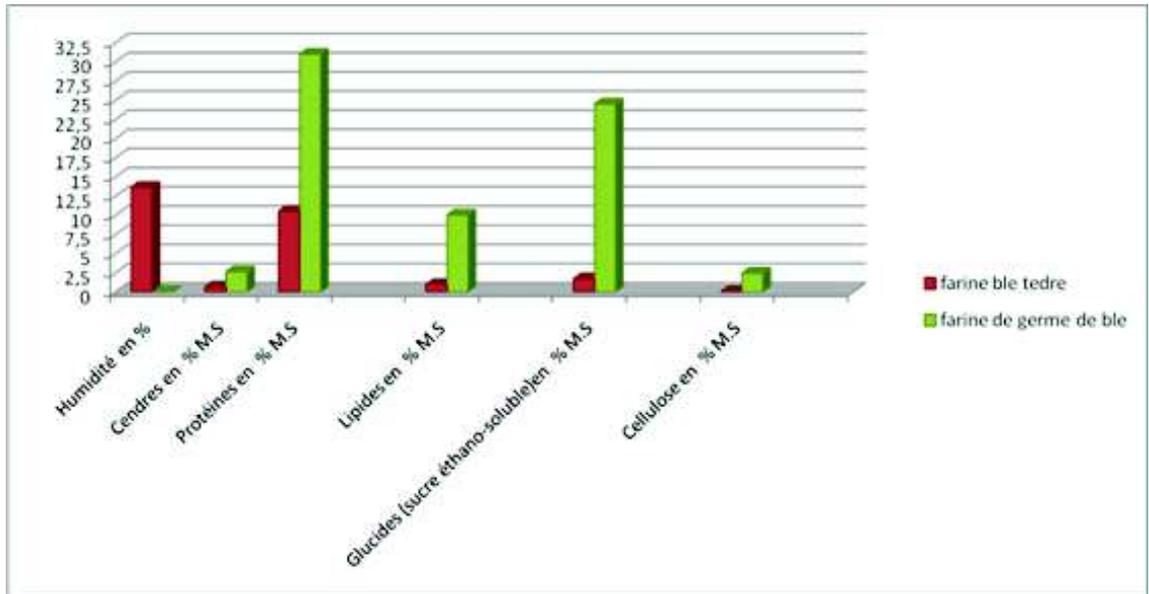
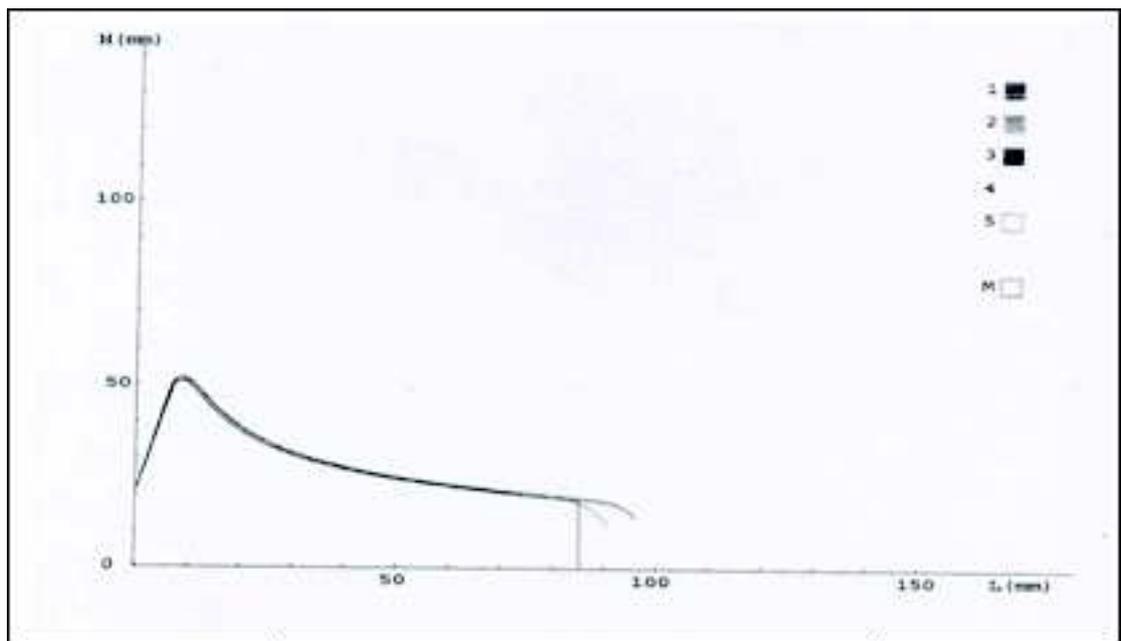


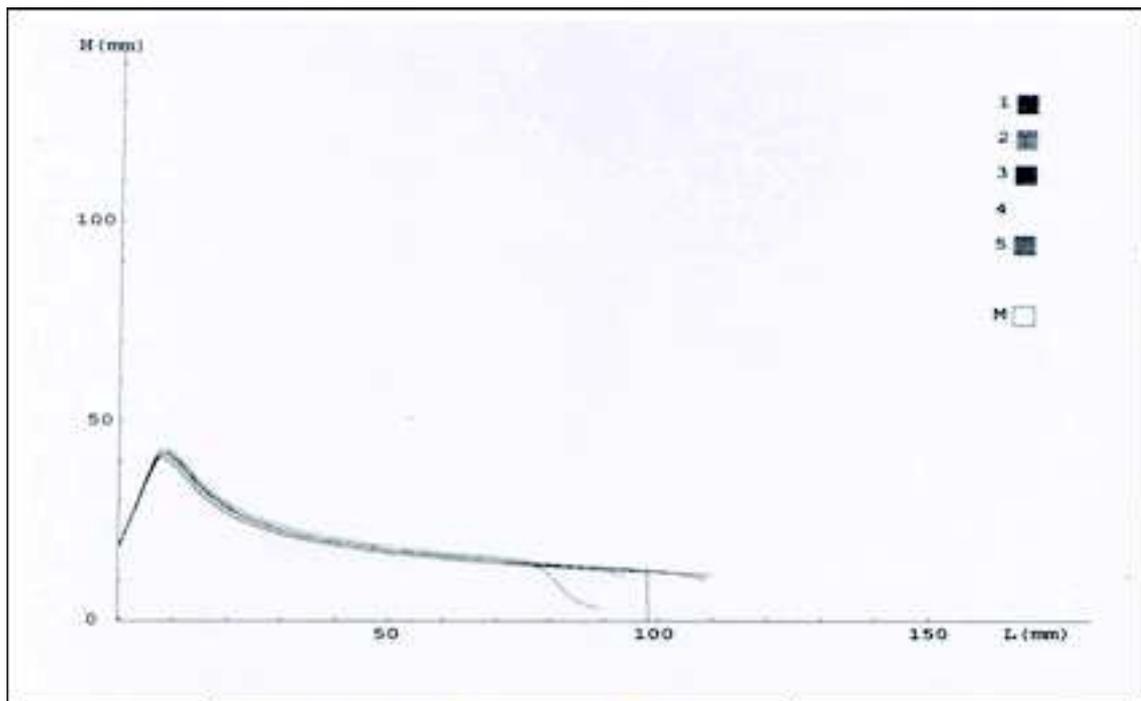
Figure 14 : Analyses biochimiques des matières premières.

ANNEXE 02



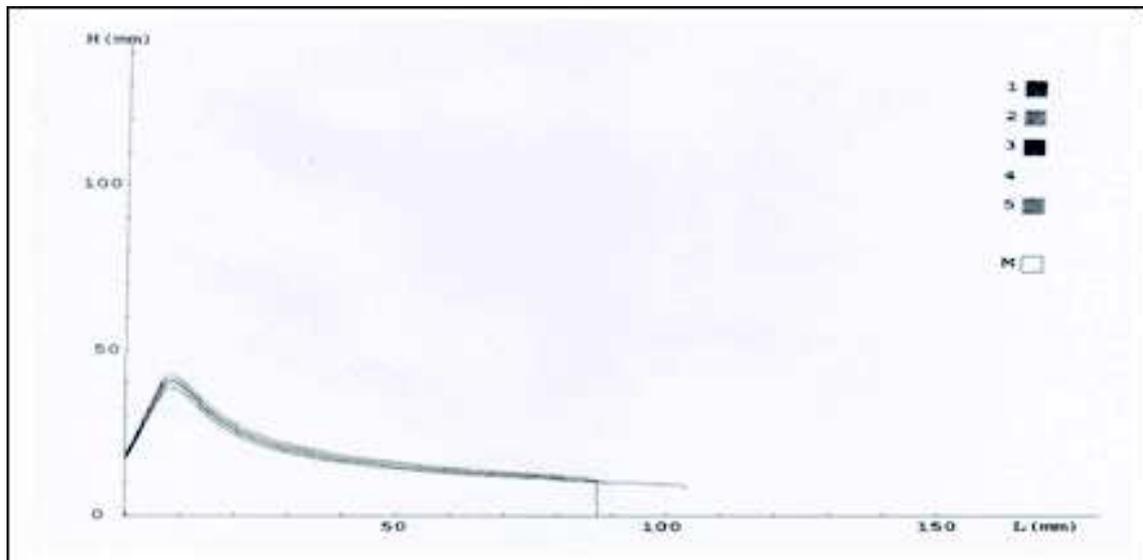
Alvéogramme de la farine de blé tendre

Alvéogramme de la farine de blé tendre



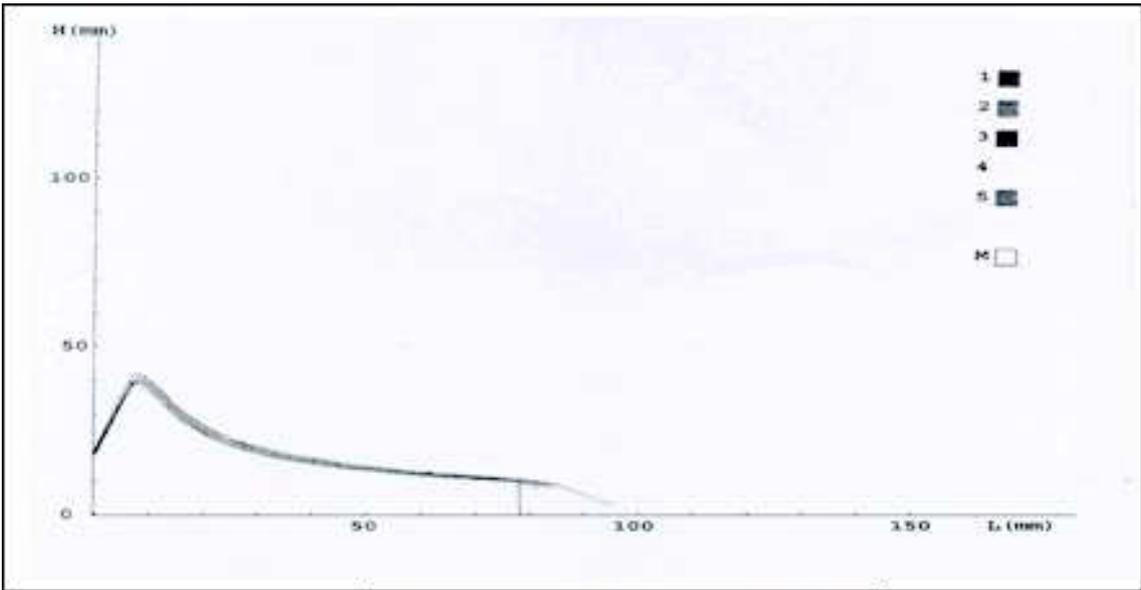
Alvéogramme de la farine à 1% G.B.

Alvéogramme de la farine à 1% G.B.



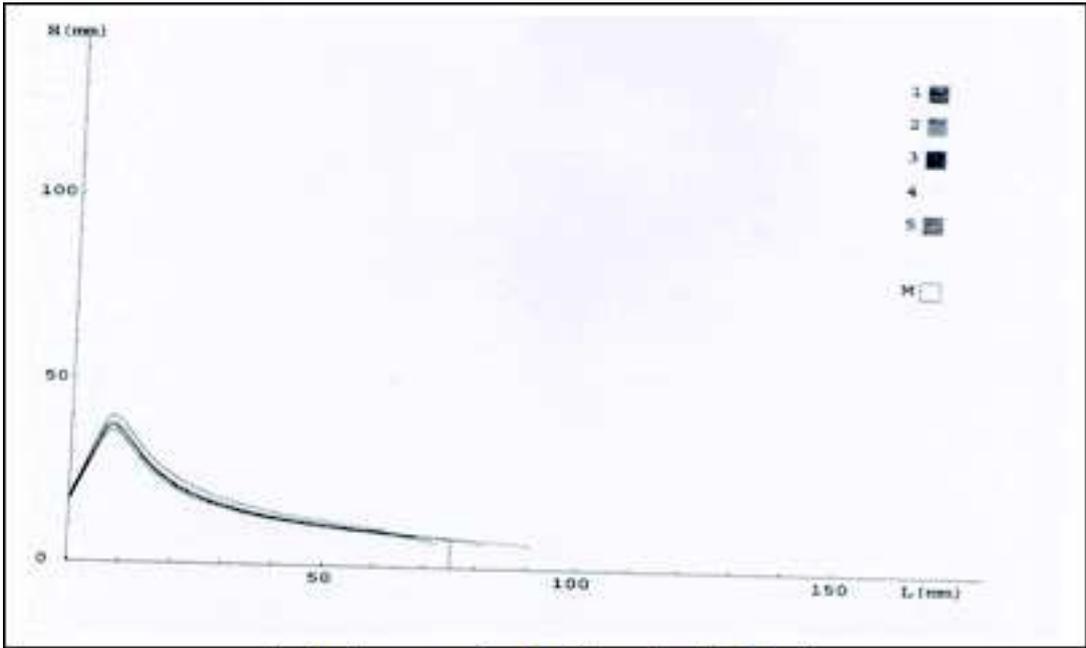
Alvéogramme de la farine à 2% G.B.

Alvéogramme de la farine à 2% G.B.



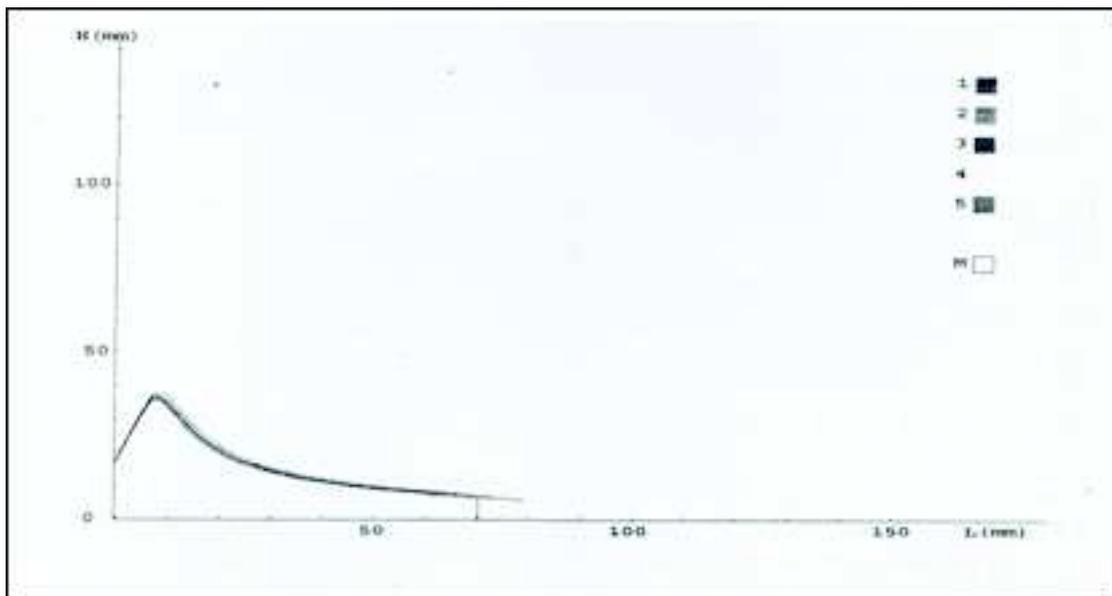
Alvéogramme de la farine à 3% G.B.

Alvéogramme de la farine à 3% G.B.



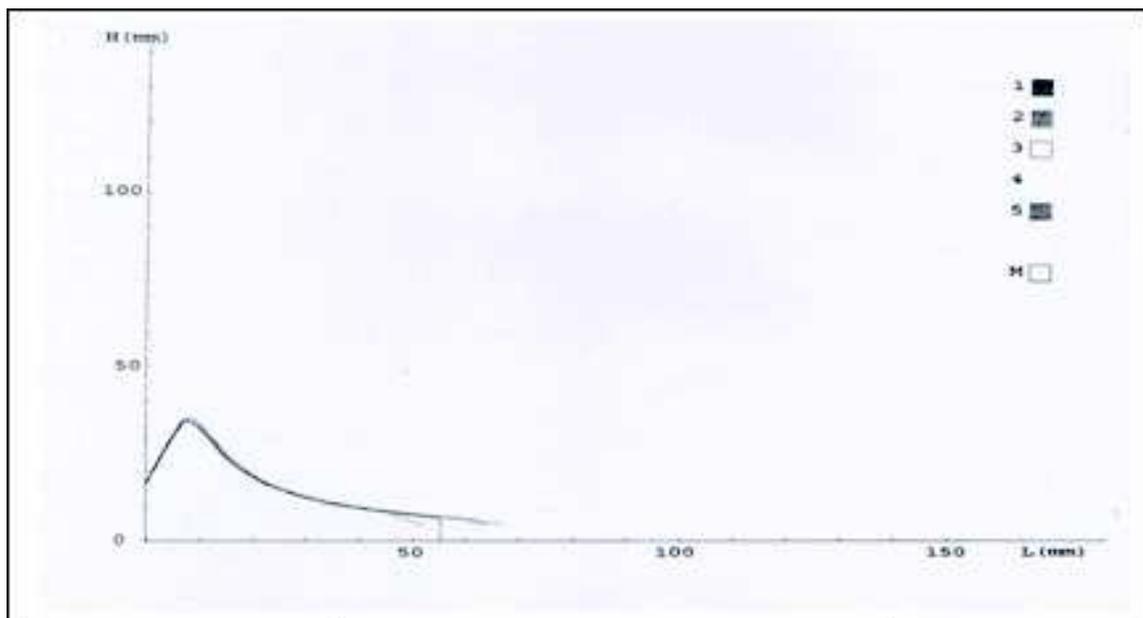
Alvéogramme de la farine à 4% G.B.

Alvéogramme de la farine à 4% G.B.



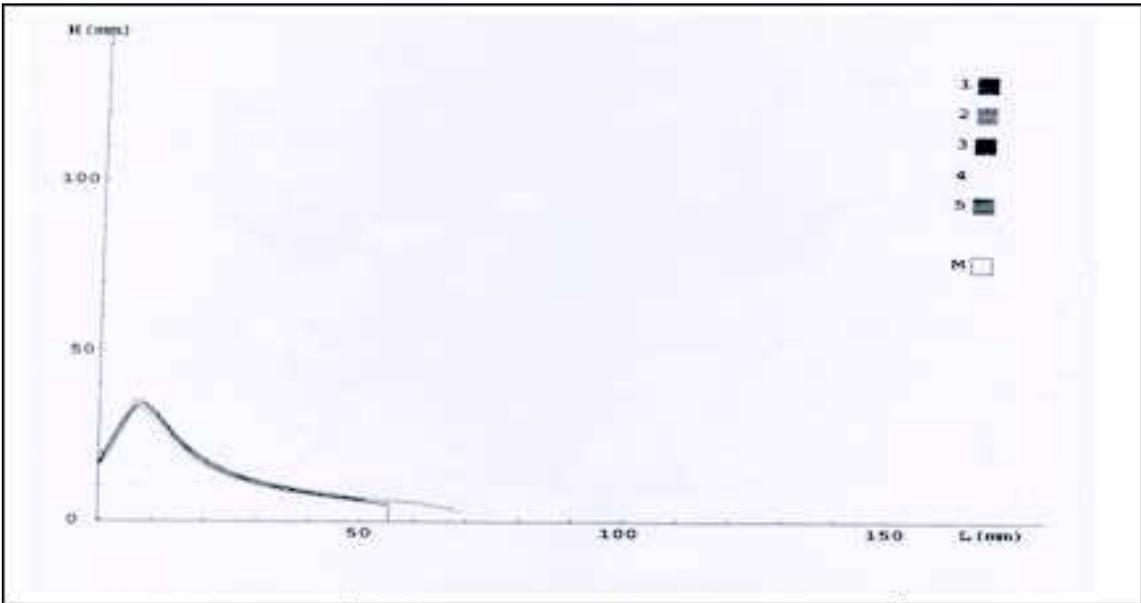
Alvéogramme de la farine à 5% G.B.

Alvéogramme de la farine à 5% G.B.



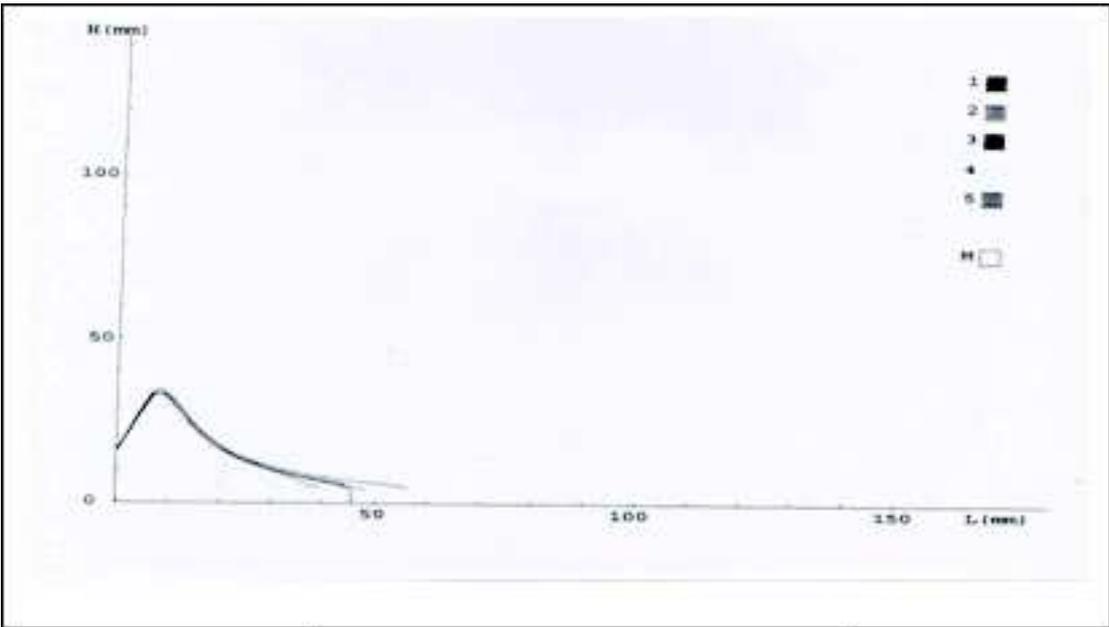
Alvéogramme de la farine à 6% G.B.

Alvéogramme de la farine à 6% G.B.



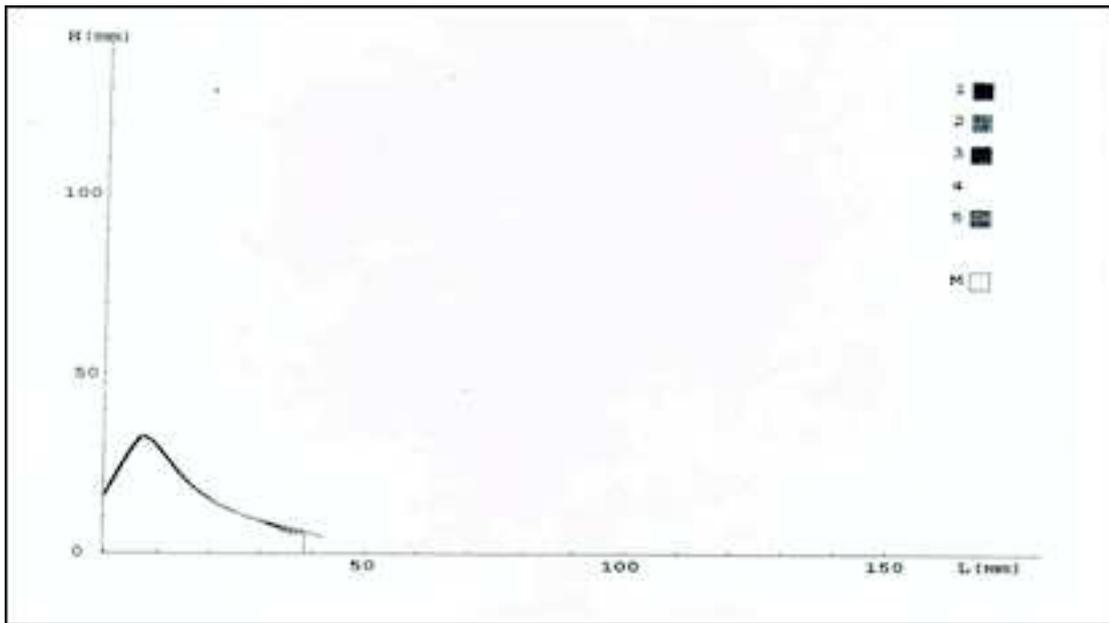
Alvéogramme de la farine à 7% G.B.

Alvéogramme de la farine à 7% G.B.



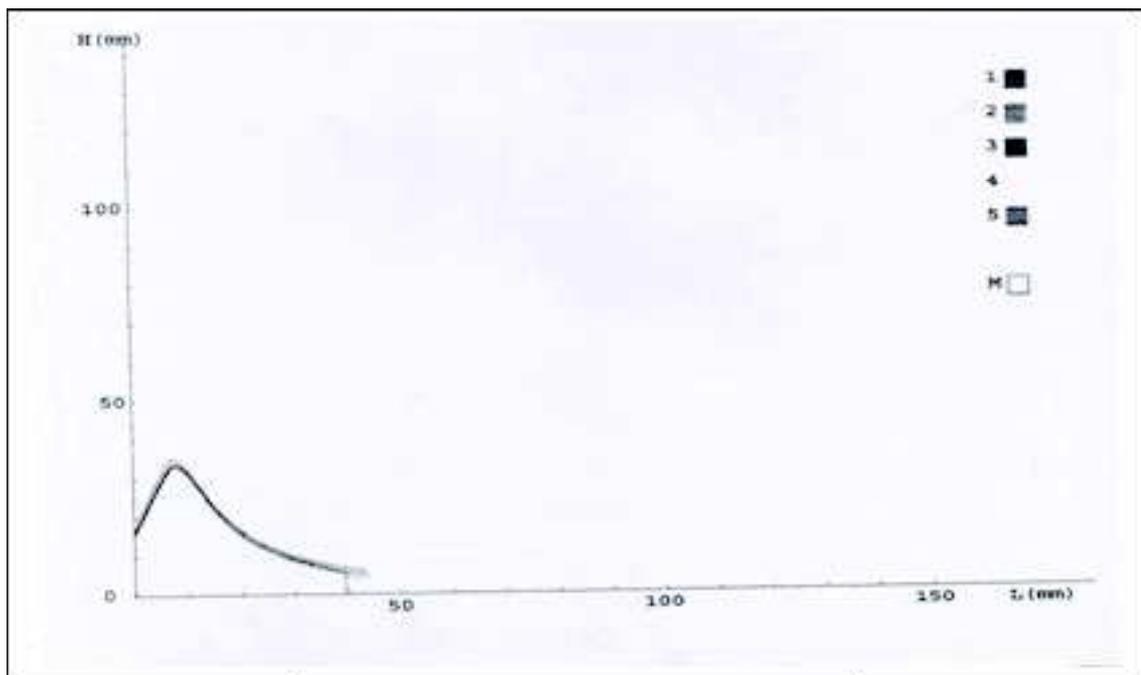
Alvéogramme de la farine à 8% G.B.

Alvéogramme de la farine à 8% G.B.



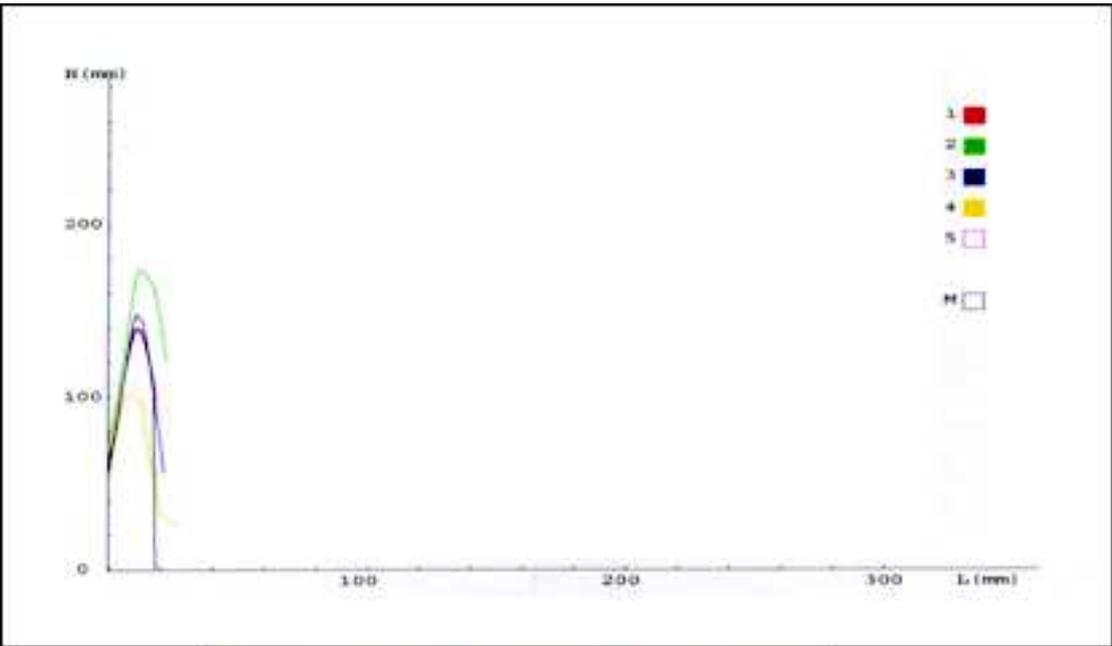
Alvéogramme de la farine à 9% G.B.

Alvéogramme de la farine à 9% G.B.



Alvéogramme de la farine à 10% G.B.

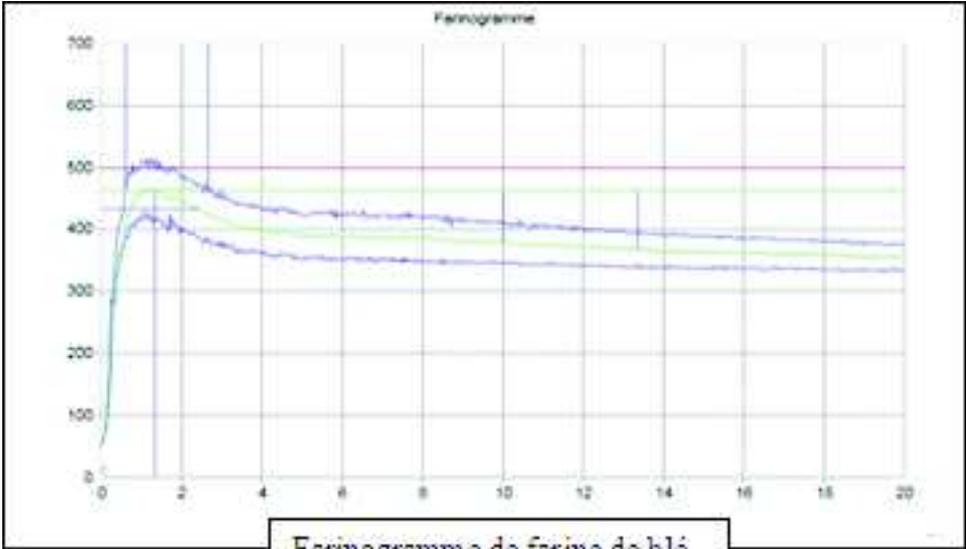
Alvéogramme de la farine à 10% G.B.



Alvéogramme de la farine de germe de blé.

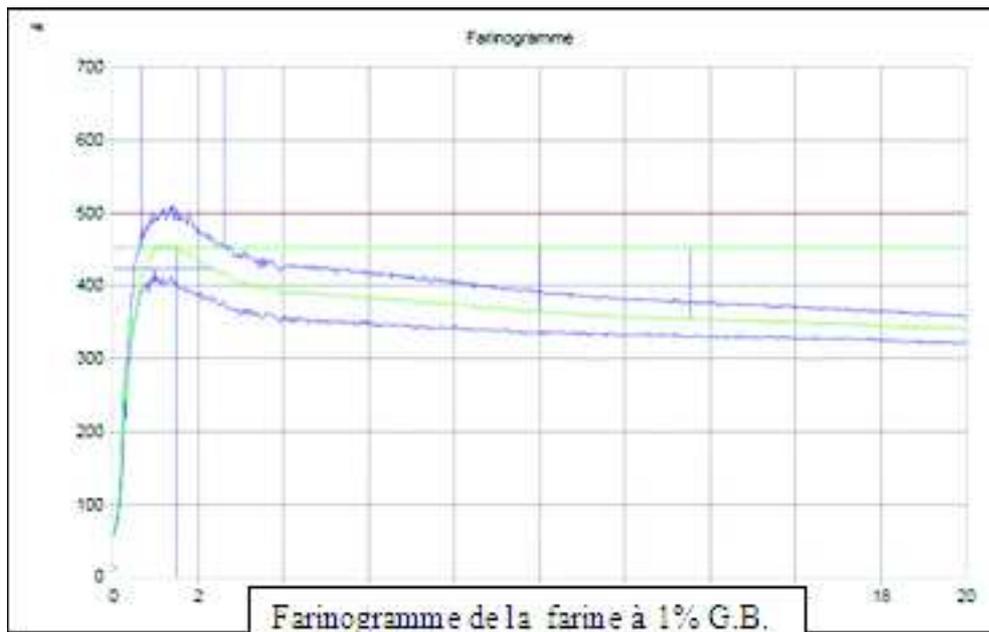
Alvéogramme de la farine de germe de blé.

ANNEXE 03.

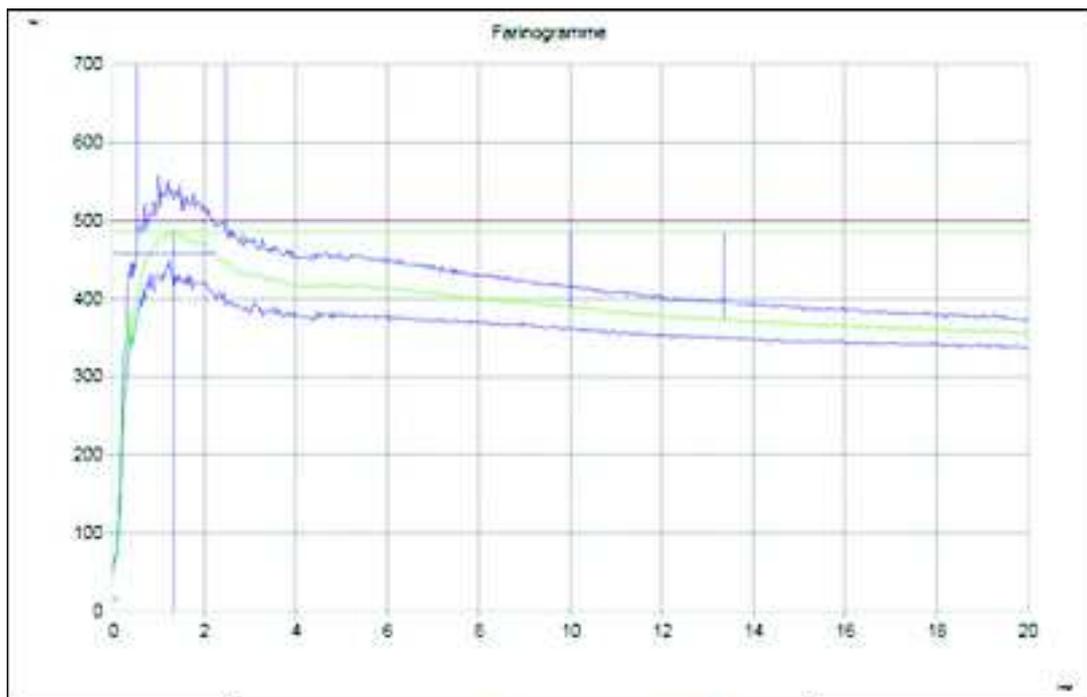


Farinogramme de farine de blé.

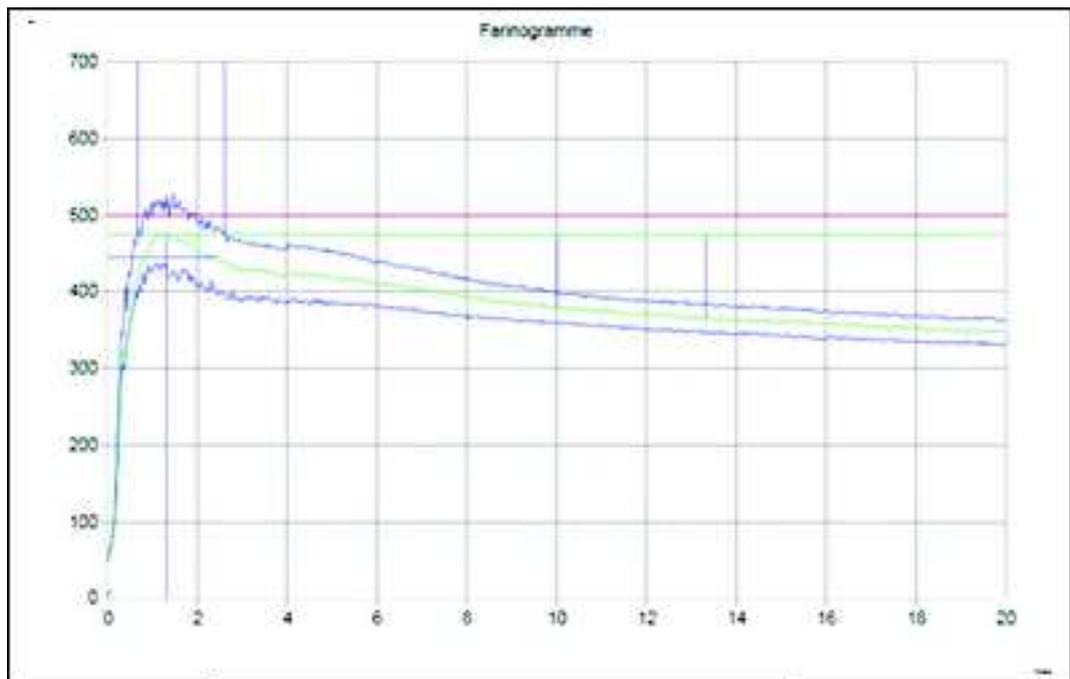
Farinogramme de farine de blé.



Farinogramme de la farine à 1% G.B.

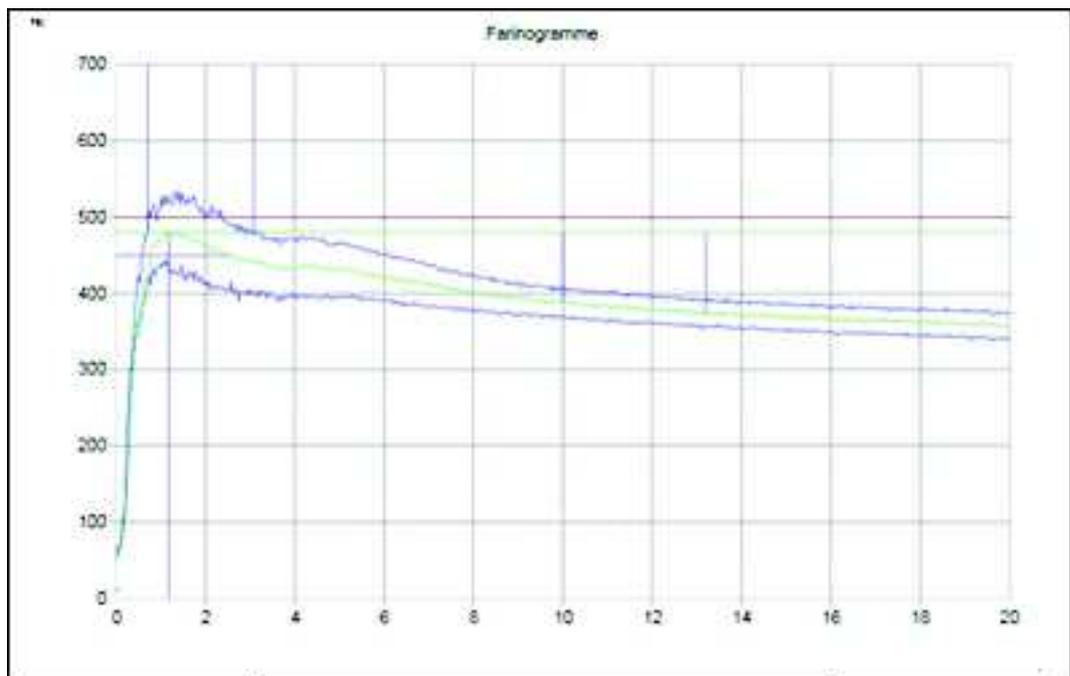


Farinogramme de la farine à 2% G.B.



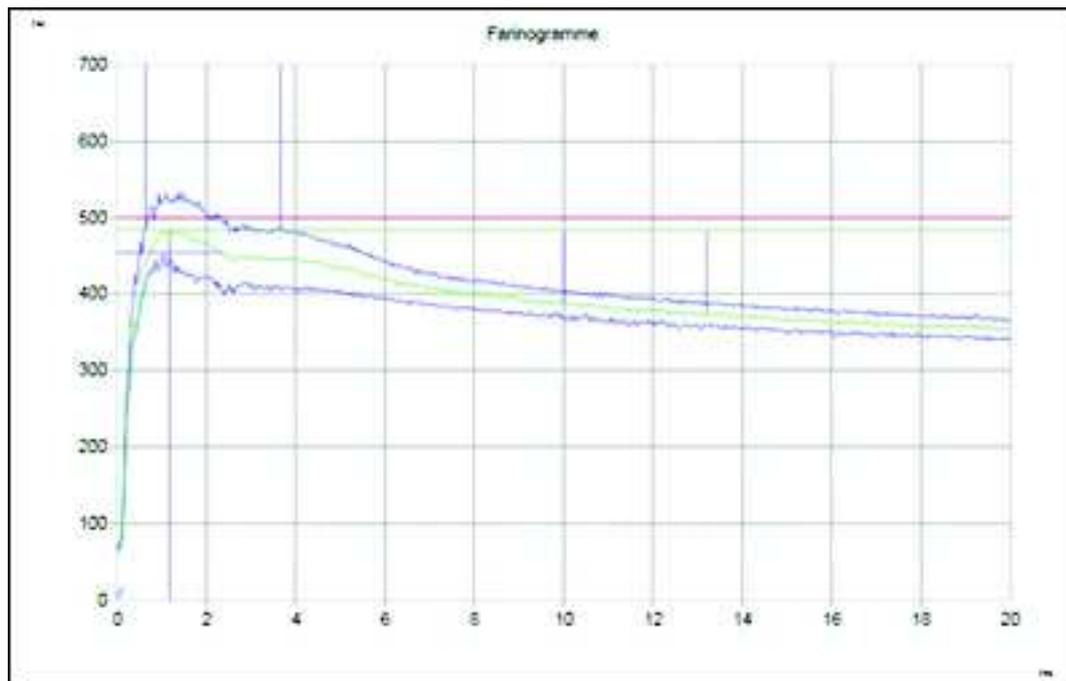
Farinogramme de la farine à 3% G.B.

Farinogramme de la farine à 3% G.B.



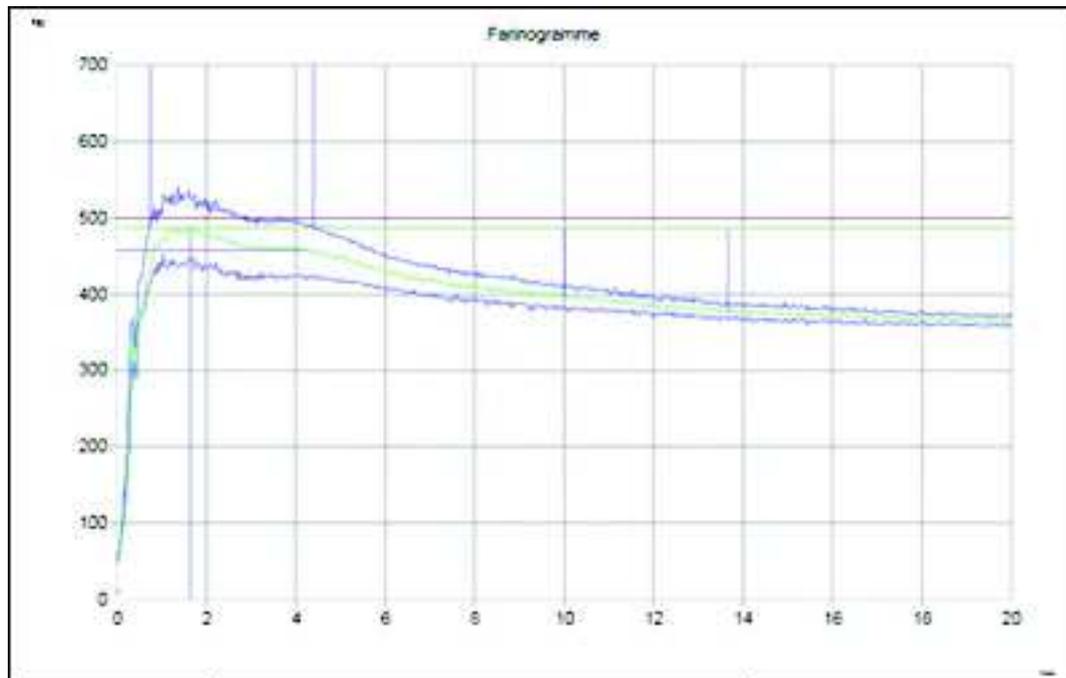
Farinogramme de la farine à 4% G.B.

Farinogramme de la farine à 4% G.B.



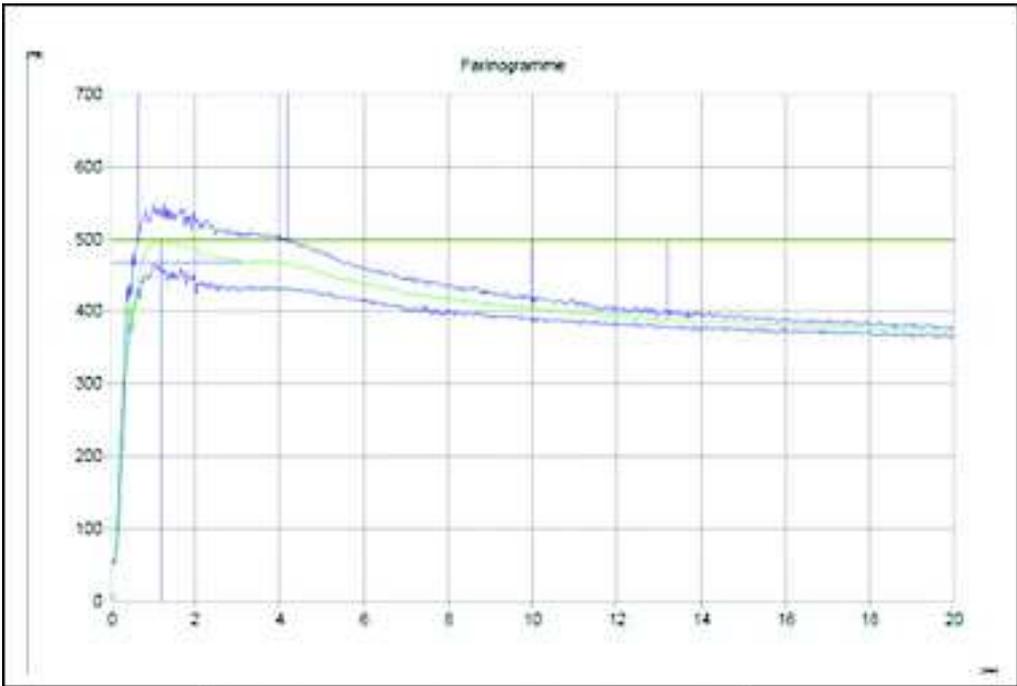
Farinogramme de la farine à 5% G.B.

Farinogramme de la farine à 5% G.B.



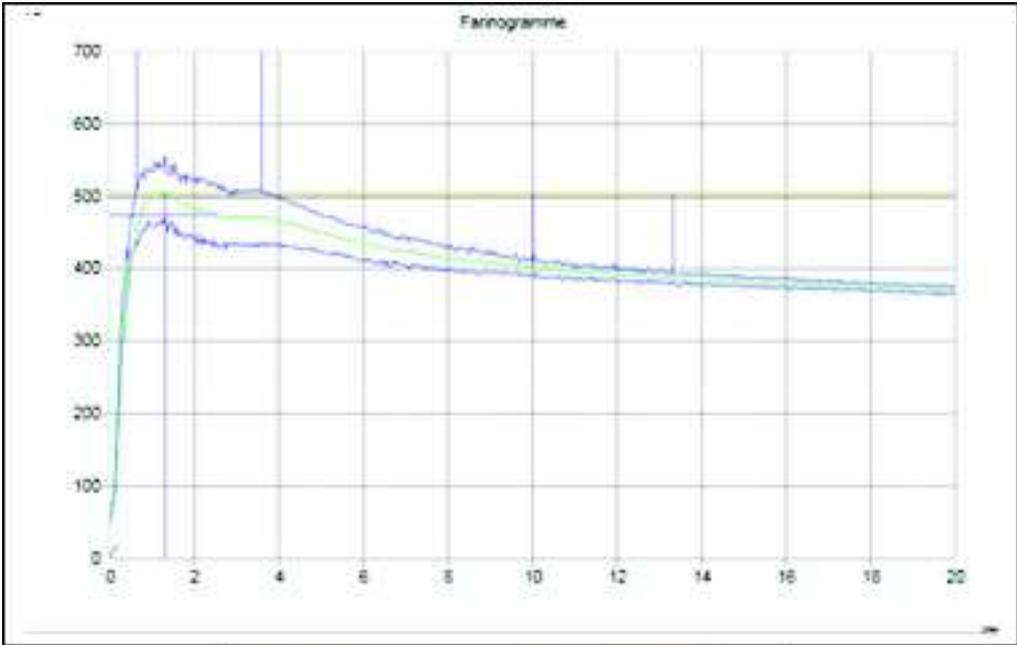
Farinogramme de la farine à 6 % G.B.

Farinogramme de la farine à 6 % G.B.



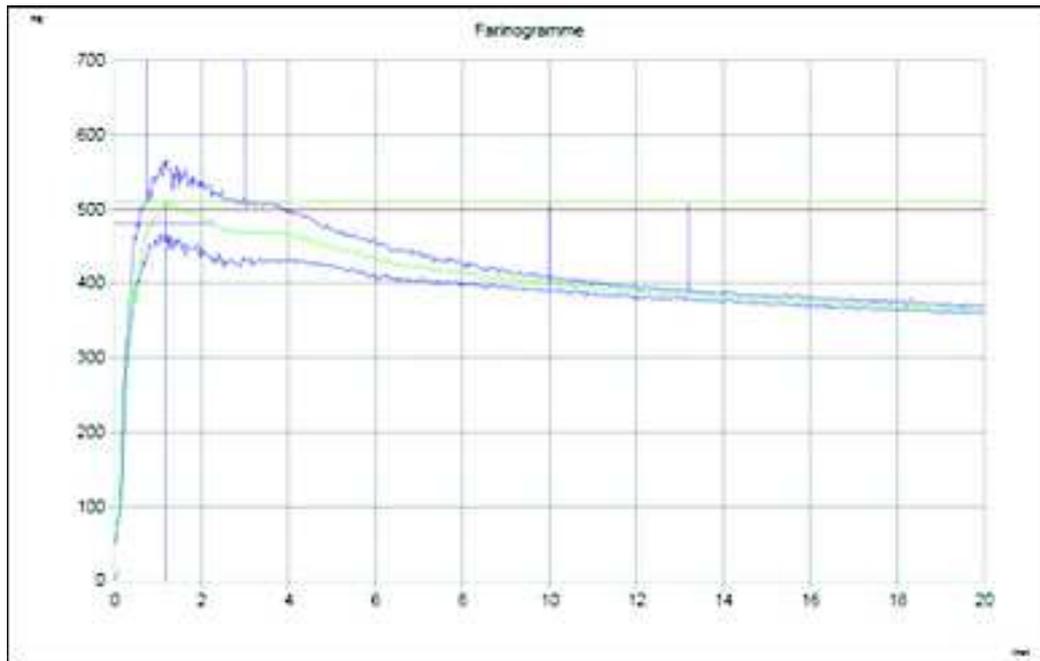
Farinogramme de la farine à 7% G.B.

Farinogramme de la farine à 7% G.B.



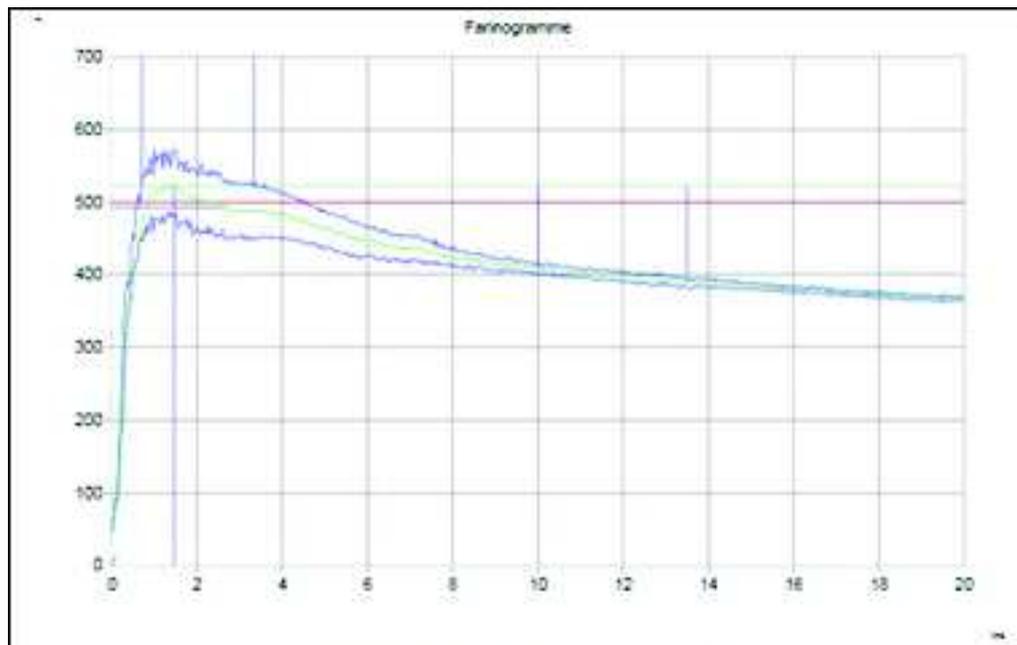
Farinogramme de la farine à 8% G.B.

Farinogramme de la farine à 8% G.B.



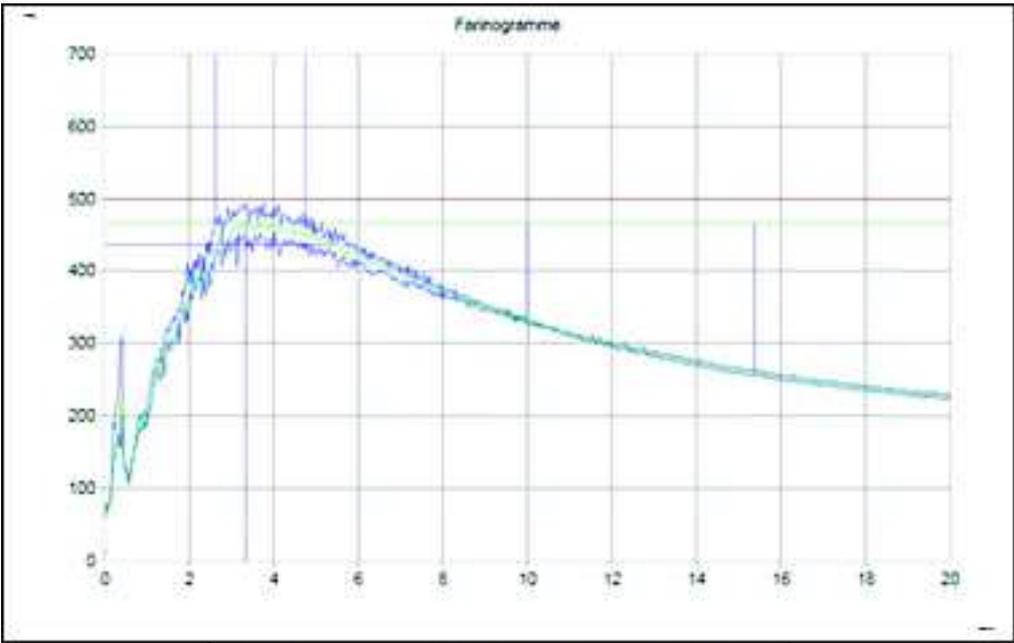
Farinogramme de la farine à 9% G.B.

Farinogramme de la farine à 9% G.B.



Farinogramme de la farine à 10% G.B.

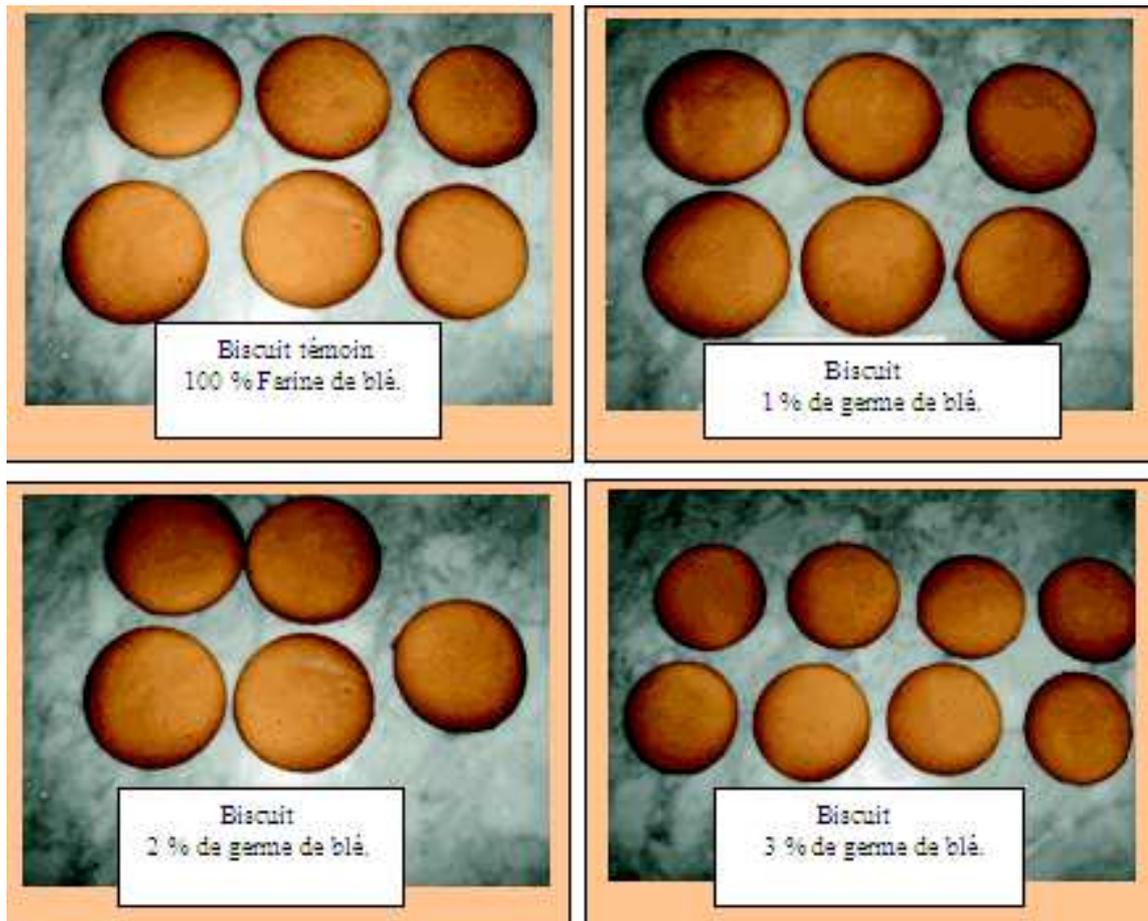
Farinogramme de la farine à 10% G.B.



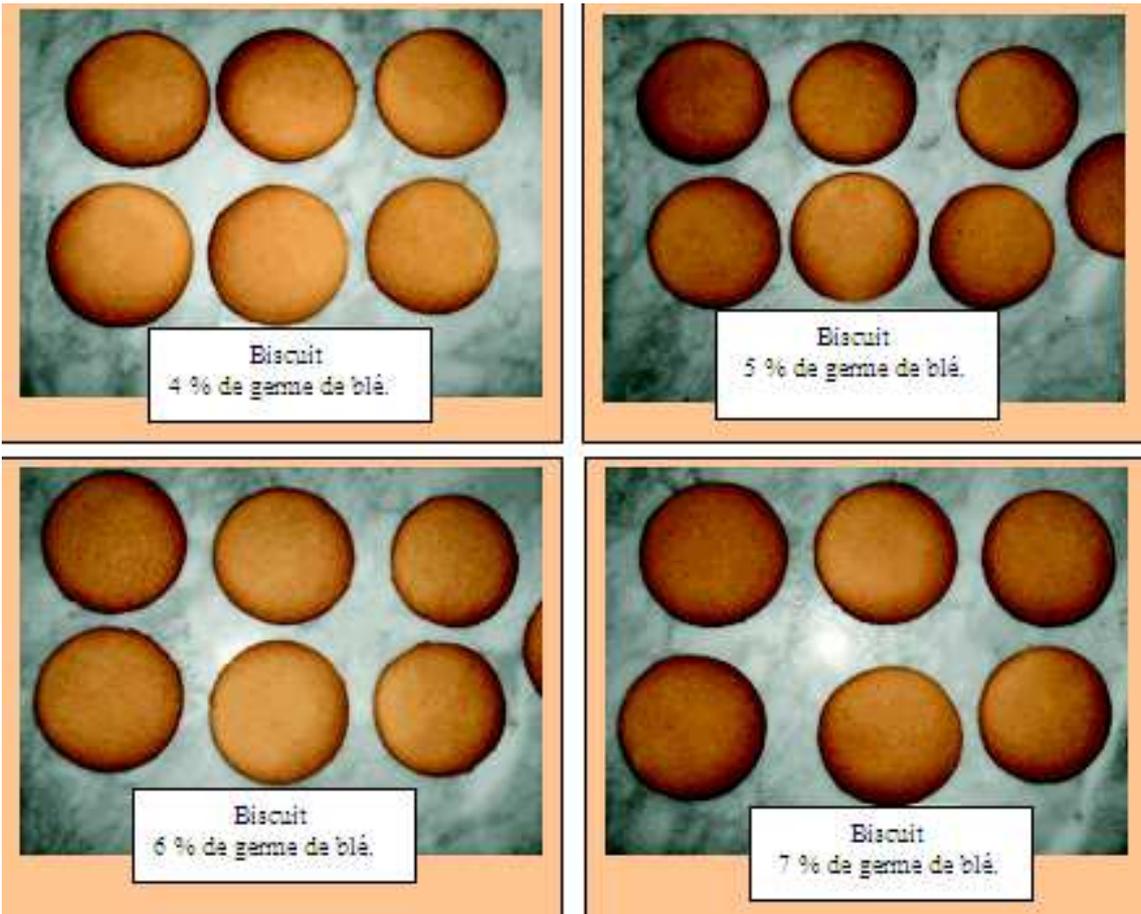
Farinogramme de farine de germe blé.

Farinogramme de farine de germe blé.

ANNEXE 04



Biscuit 1



Biscuit 2



Biscuit 3

ANNEXE 05

 FICHE TECHNIQUE PUR-AMANDE	
DESCRIPTION DU PRODUIT	
DESCRIPTION : Produit obtenu par broyage fin de germes de blé stabilisés par séchage	
COMPOSITION : Germes de blé	
PROPRIETES : Apporte aux produits finis protéines, vitamine et lipides. Développe les arômes des produits de panification	
CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES	
ORGANOLEPTIQUES	Couleur : jaune-crème Goût et odeur : typique et agréable
PHYSICO-CHIMIQUES	Humidité : 5,5 à 7 % Matières minérales : 4 à 5 % Granulométrie (refus à 200µm) : < 6,5 %
NUTRITIONNELLES (données indicatives)	Energie (pour 100g) : 325 Kcal Protéines (Nx5,7) : 26 % sur MS environ Glucides : 35 % sur MS environ Lipides : 9 % sur MS environ
CARACTERISTIQUES SECURITE ALIMENTAIRE	
MICROBIOLOGIE g valeurs cibles indicatives (m) satisfaisant : m 25g acceptable : 10 m	Flora aérobie mésophile : < 200 000 par g E. coli : < 100 par g Salmonelles : absence dans Levures : < 1 000 par g Moisissures : < 1 000 par g
MYCOTOXINES	Aflatoxines B1 : < 2 µg/kg Aflatoxines B1+B2+G1+G2 : < 4 µg/kg Ochratoxine : < 3 µg/kg
PESTICIDES	Conforme à l'arrêté du 10/02/1989 modifié
METAUX LOURDS	Plomb : < 0,2 mg/kg Cadmium : < 0,2 mg/kg
ALLERGENES	Selon la liste des allergènes majeurs de l'annexe III bis, directive 2003/89/CE, ce produit contient les allergènes suivants : gluten
CARACTERISTIQUES LOGISTIQUES	
CONDITIONNEMENT	Sac de 20 kg sur palette de 30 sacs (600 kg)
CONSERVATION	Date Limite d'Utilisation Optimale : 6 mois A conserver à l'abri de la chaleur (< 20°C) et de l'humidité

Fiche technique de farine de germe de blé commerciale A.I.T