

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE CONSTANTINE 1**  
**INSTITUT DE LA NUTRITION, DE L'ALIMENTATION ET**  
**DES TECHNOLOGIES AGROALIMENTAIRES**  
**I.N.A.T.A-A.**  
**Département de Technologie Alimentaire**

N° d'ordre:  
N° de série:

**Mémoire présenté en vue de l'obtention,**  
**du diplôme de Magister en Sciences Alimentaires,**  
**Option : Technologies Alimentaires**

**Thème :**

---

---

**Pâte traditionnelle algérienne aux épinards**  
**« type MKARTFA »**

---

---

Par : **BRAHIMI Fatima**

Soutenu le : 18 /12 / 2014

**Devant le Jury :**

<b>Président :</b>	A. BOUDJELLAL	Professeur	(I.N.A.T.A-A.- U. C.1)
<b>Encadreur :</b>	H. NAMOUNE	Professeur	(I.N.A.T.A-A.- U. C.1)
<b>Examinatrices :</b>	L. AMOURACHE	MC/A	(I.N.A.T.A-A.- U. C.1)
	F. BEKHOUCHE	Professeur	(I.N.A.T.A-A.- U. C.1)

**Année universitaire : 2014 – 2015**

## **Remerciements**

*Avant toute chose, je remercie Dieu le tout puissant, le miséricordieux et le clément de m'avoir donné santé, patience, volonté et courage.*

*Sincères remerciements,*

*À mon Professeur-Enseignant Monsieur NAMOUNE H., responsable de thèse, qui non seulement a contribué à ma formation scientifique, à l'instar des autres enseignants en technologie agro alimentaire mais aussi pour la confiance qu'il nous a accordé en acceptant d'encadrer ce travail. Pour ses multiples conseils, ses encouragements avec la plus grande bienveillance qu'il trouve ici l'expression de ma très profonde gratitude, de mes sincères remerciements et ma reconnaissance pour toujours.*

*Hommage respectueux,*

*À notre maître et Professeur BOUDJELLAL A., Directeur de l'INATAA, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence du jury.*

*Sincères remerciements,*

*À madame AMOURACHE L., Docteur et Maître de conférence à l'INATAA, pour avoir accepté l'évaluation de mon travail, et de m'avoir l'honneur par sa participation au jury.*

*Vifs remerciements,*

*À madame BAKHOUCHE F., Professeur à l'INATAA, pour son acceptation de juger mon travail et de faire honneur de siéger au sein du groupe de ce mémoire.*

*J'exprime ma gratitude à tous les membres du corps enseignant et magisters de l'année 2008 (option technologie alimentaire de l'INATAA, université Constantine I) pour leur dévouement lors de notre formation et leurs conseils et suggestions.*

*Mes remerciements au personnel administratif et technique de l'INATAA qui a grandement contribué à la réalisation de ce travail.*

*J'exprime ma reconnaissance et mes remerciements à tout le personnel de l'UAB d'OULED Hamla et plus particulièrement aux membres du laboratoire qui n'ont ménagé aucun effort pour me prêter assistance et aide.*

*Mes sentiments de reconnaissance et mes remerciements vont aussi à l'encontre de toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicaces*

*A mon cher père*

*Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement, pour son amour, ses encouragements. Que ce travail soit un faible témoignage de ma profonde affection et tendresse. Que le tout puissant me le préserve et lui accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et le protège de tout mal.*

*A ma très chère mère*

*Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu n'as cessé de m'encourager durant toutes les années de mes études. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.*

*A mon cher mari, BOUTEMINE Abderrahmane, pour son grand soutien indéfectible et son amour pour les connaissances, le savoir, sa compréhension et ses encouragements qui m'ont galvanisé pour la réalisation de ce modeste travail qui est clé de réussite pour notre existence.*

*A mon joyeux Amdjed Firas qui constitue un stimulant pour moi.*

*A mes frères Slimane et Rida pour leurs encouragements, leurs amour, leur compréhension et pour leur aide.*

*A mes sœurs Mounia, Wafa, Karima et Widad, pour leur assistance, leur aide, leur disponibilité, leur sacrifice et leur amour fraternel.*

*A ma belle famille pour son soutien moral, ses encouragements et ses vœux.*

*Dieu les gardes et leur montre le droit chemin plus particulièrement au vieux Saleh et la mère Taous.*

# **TABLE DES MATIERES**

**TABLE DES MATIÈRES****LISTE DES TABLEAUX****LISTE DES FIGURES****LISTE DES ABRÉVIATIONS****INTRODUCTION ..... 01*****1<sup>ère</sup> PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE*****CHAPITRE I : LE BLÉ .....03**

1. Définition / origine.....03

2. Les différents types de blé.....03

3. Description de la plante.....04

4. Description et Composition histologique.....04

4.1. Les enveloppes.....05

4.2. L'albumen ou amande .....06

4.3. Le germe ..... 06

5. Composition biochimique.....06

5.1. Glucides.....07

5.1.1. Amidon.....07

5.1.2. Fibres alimentaires .....08

5.1.3. Glucides simples ..... 08

5.2. Lipides.....09

5.3. Protéines.....09

5.4. Autres constituants..... 10

**CHAPITRE II : LES PÂTES ALIMENTAIRES.....11**

1. Définition .....11

2. Classification des pâtes alimentaires.....11

2.1. Les pâtes pressées ou tréfilées ..... 11

2.2. Les pâtes laminées .....11

---

3. Matière première .....	12
3.1. La semoule .....	12
3.2. L'eau .....	12
3.3. Le sel .....	13
4. Technologie de fabrication des pâtes alimentaires .....	13
4.1. Hydratation / Malaxage .....	14
4.2. Formage ou façonnage (extrusion / laminage).....	14
4.2.1. Extrusion .....	14
4.2.2. Laminage .....	15
4.3. Séchage.....	15
5. Qualité des pâtes alimentaires.....	15
5.1. Qualité organoleptique.....	16
5.1.1. Aspect des pâtes alimentaires.....	16
5.1.2. Qualité culinaire des pâtes alimentaires .....	16
5.2. Qualité hygiénique.....	17
5.3. Qualité nutritionnelle.....	17
6. Rôles des constituants de la semoule dans la pastification .....	17
6.1. Rôles des protéines.....	17
6.2. Rôles des lipides.....	18
6.3. Rôles des glucides et des polyosides.....	18
7. Pâtes alimentaires traditionnelles algériennes.....	19
8. Pâtes enrichies.....	21
<b>CHAPITRE III: L'ÉPINARD.....</b>	<b>22</b>
1. Description et taxonomie .....	22
2. Origine et répartition géographique .....	22
3. Variétés .....	23
4. Culture .....	24
5. Récolte .....	24
6. Composition .....	24
7. Conservation .....	25

## **2<sup>ème</sup> PARTIE : MATERIEL ET METHODES**

1. Caractérisation des matières premières.....	27
1.1. Matières premières .....	27
1.2. Caractérisation biochimique de la semoule.....	27
1.2.1. Teneur en eau (taux d'humidité) .....	27
1.2.2. Teneur en cendres .....	28
1.2.3. Teneur en protéines (dosage des protéines totales) .....	29
1.2.4. Teneur en lipides libres.....	29
1.3. Caractérisation technologiques de la semoule.....	30
1.3.1. Granulométrie de la semoule.....	30
1.3.2. Teneur en gluten humide et sec et coefficient d'hydratation.....	30
1.3.3. Extensibilité du gluten.....	31
1.3.4. Ramollissement du gluten.....	32
1.4. Caractérisation des épinards utilisés.....	33
1.4.1. Pourcentage de matière comestible (rendement) .....	33
1.4.2. Humidité .....	33
1.4.3. Taux de cendres.....	33
1.4.4. Teneur en protéines (dosage des protéines totales).....	33
2. La pastification (Fabrication de <i>Mkartfa</i> ) .....	34
2.1. Ustensiles utilisés.....	35
2.2. Diagramme de fabrication de <i>Mkartfa</i> avant et après incorporation d'épinard .....	36
2.2.1. Hydratation/malaxage.....	38
2.2.2. Repos.....	38
2.2.3. Pétrissage.....	39
2.2.4. Mise en forme.....	40
3. Analyses physico-chimiques et technologiques des pâtes obtenues.....	42
3.1. Teneur en eau (taux d'humidité) .....	42
3.2. Teneur en cendres (taux de cendres) .....	42
3.3. Teneur en protéines (dosage des protéines totales) .....	42
3.4. Dimensions de <i>Mkartfa</i> .....	43
3.5. Masse volumique <i>Mkartfa</i> .....	43
4. Caractérisations des pâtes obtenus avant et après incorporation d'épinard .....	43

4.1. Aspect des pâtes crues.....	43
4.2. Qualité culinaire .....	44
4.2.1. Temps optimal de cuisson.....	44
4.2.2. Le gonflement (Poids à la cuisson) .....	45
4.2.3. Degré de délitescence (Pertes à la cuisson) .....	45
5. Analyses sensorielles.....	46
5.1. Test hédonique.....	47
5.2. Test de classement par rang.....	48
6. Analyse statistique.....	49

### **3<sup>ème</sup> PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

1. Caractérisation de la matière première.....	50
1.1. Caractérisation physico-chimiques de la semoule.....	50
1.1.1. Humidité .....	50
1.1.2. Cendres .....	51
1.1.3. Protéines .....	51
1.1.4. Lipides libres .....	52
1.2. Caractéristiques technologiques de la semoule.....	52
1.2.1. Granulométrie de la semoule .....	52
1.2.2. Teneur en gluten humide et sec et caractéristiques rhéologiques .....	53
1.2.2.1. Gluten humide .....	53
1.2.2.2. Gluten sec.....	54
1.2.2.3. Capacité d'hydratation.....	54
1.2.2.4. Extensibilité .....	54
1.2.2.5. Ramollissement.....	54
1.3. Caractérisation des épinards utilisés.....	55
1.3.1. Pourcentage des parties comestibles (rendement) .....	55
1.3.2. Caractéristiques chimiques des épinards utilisés.....	55
1.4. Propriétés rhéologiques du gluten après incorporation d'épinard.....	56
1.4.1. Teneur en gluten et taux d'hydratation après incorporation d'épinard.....	57
1.4.2. Extensibilité et Ramollissement .....	58

---

2. Caractéristiques des pâtes alimentaires fabriquées avant et après incorporation d'épinard.....	60
2.1. Test de pastification.....	60
2.2. Caractéristiques physiques des pâtes obtenues avant et après incorporation d'épinard .....	62
2.3. Caractéristiques physico-chimiques des pâtes obtenues avant et après incorporation d'épinard.....	63
2.3.1. Humidité.....	64
2.3.2. Teneur en cendre.....	65
2.3.3. Teneur en protéines .....	66
2.4. Qualité culinaire des pâtes .....	67
2.4.1. Temps de cuisson des pâtes avant et après incorporation d'épinard. ....	68
2.4.2. Degré de délitescence.....	70
2.4.3. Gonflement.....	73
2.5. Analyses sensorielles .....	75
2.5.1. Le test hédonique .....	75
2.5.1.1. La couleur .....	76
2.5.1.2. La fermeté et le collant.....	77
2.5.1.3. L'odeur et le goût .....	78
2.5.2. Test de classement .....	79
2.5.3. Profils sensoriels .....	81
2.5.4. Test de corrélation .....	83
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>	
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	

## LISTE DES TABLEAUX :

*1<sup>ÈRE</sup> PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE*

<b>Tableau 01.</b> Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé (FEILLET, 2000) .....	7
--	---

<b>Tableau 02.</b> Composition en protéines du grain de blé (CHEFTEL et CHEFTEL, 1984; FEILLET, 2000) .....	10
---	----

<b>Tableau 03.</b> Composition chimique de la semoule, teneur en % de matière sèche.....	12
--	----

*3<sup>ème</sup> PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS*

<b>Tableau 04.</b> Composition chimiques de la semoule .....	50
--	----

<b>Tableau 05.</b> Granulométrie de la semoule utilisée dans la fabrication des pâtes alimentaires en pourcentage.....	52
--	----

<b>Tableau 06.</b> Teneur en gluten et ses caractéristiques rhéologiques.....	53
---	----

<b>Tableau 07.</b> Calcul du PT/TA de l'épinard.....	55
--	----

<b>Tableau 08.</b> Résultat des analyses chimiques de l'épinard.....	56
--	----

<b>Tableau 09.</b> Résultats des analyses rhéologiques de gluten après incorporation d'épinard.....	57
---	----

<b>Tableau 10.</b> Comparaison des moyennes des teneurs en gluten sec et les taux d'hydratation à différent taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et de 5%.....	58
--	----

<b>Tableau 11.</b> Comparaison des moyennes d'extensibilité (cm) à différent taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%.....	59
--	----

<b>Tableau 12.</b> Comparaison des moyennes de ramollissement (mm) à différent taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%.....	60
--	----

<b>Tableau 13.</b> Les différents ingrédients pour la préparation des pâtes à différents taux d'incorporations d'épinard .....	61
--	----

<b>Tableau 14.</b> Caractéristiques physiques de MKARTFA avant et après incorporation d'épinard .....	63
<b>Tableau 15.</b> Caractéristiques physico chimiques de MKARTFA avant et après incorporation d'épinard .....	64
<b>Tableau 16.</b> Comparaison des moyennes de l'humidité des pâtes fraîches et sèches (%) à différent taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5% .....	65
<b>Tableau 17.</b> Comparaison des moyennes des teneurs en cendres à différent taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%.....	66
<b>Tableau 18.</b> Comparaison des moyennes des teneurs en protéine à différent taux. d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%.....	67
<b>Tableau 19.</b> Qualité culinaire de MKARTFA avant et après incorporation d'épinard .....	68
<b>Tableau 20.</b> Comparaison des temps optimal de cuisson de <i>Mkartfa</i> fraîche (min) à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%.....	70
<b>Tableau 21.</b> Comparaison de degré de délitescence (en % ms) des pâtes fraîches et sèches à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%.....	72
<b>Tableau 22.</b> Comparaison des moyennes des indices de gonflement des pâtes fraîches et sèches à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%.....	74
<b>Tableau 23.</b> Comparaison des moyennes de la couleur des pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et de 5% .....	77
<b>Tableau 24.</b> Comparaison des moyennes de la fermeté du collant des pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et de 5% .....	78

<b>Tableau 25.</b> Comparaison des moyennes de l'odeur et du goût des pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et de 5% .....	79
<b>Tableau 26.</b> Résultats du test de classement par rang des pâtes cuites.....	80
<b>Tableau 27.</b> Matrice de corrélation (Pearson (n)) .....	86

## LISTE DES FIGURES

**1<sup>ÈRE</sup> PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**

**Figure 01.** Composition histologique du grain de blé (SURGET et BARRON 2005)..... 05

**2<sup>ÈME</sup> PARTIE : MATERIEL ET METHODES**

**Figure 02.** Les principaux ustensiles utilisés pour la Fabrication de *Mkartfa* ..... 35

**Figure 03.A.** Diagramme de fabrication de '*Mkartfa*' sans épinard ..... 36

**Figure 03.B.** Diagramme de fabrication de '*Mkartfa*' aux épinards..... 37

**Figure 04.** Hydratation et malaxage des ingrédients ..... 38

**Figure 05.** Pétrissage des pâtes ..... 39

**Figure 06.** Mise en forme des pâtes par la méthode traditionnelle..... 40

**Figure 07.** Mise en forme des pâtes par la méthode mécanique ..... 41

**Figure 08.** Bulletin pour le test hédonique du *Mkartfa* avec un barème de notation allant de 1 à 9 .....47

**Figure 09.** Bulletin du test de classement par rang ..... 48

**3<sup>ÈME</sup> PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

**Figure 10 .** Temps optimal de cuisson de *Mkartfa*, fraîche et sèche, à différents taux d'incorporation d'épinard..... 69

**Figure 11.** Degré de délitescence (en % de matière sèche) des pâtes fraîches et sèches.....71

**Figure 12 .** Indice de gonflement des pâtes fraîches et sèches à différents taux d'incorporations d'épinard..... 73

**Figure 13.** valeurs moyennes de test hédonique pour les pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard .....76

**Figure 14.** Profils sensoriels des pâtes à différents taux incorporation d'épinard..... 82

**Figure 15.** Analyse en composantes principales (ACP) des paramètres physico-chimiques, culinaires et sensorielles des différentes pâtes avant et après incorporation d'épinard (avec un seuil de signification de 0,05).....85

## LISTE DES ABREVIATIONS

**ACP** : analyse en composantes principales

**ANOVA** : analyse de la variance

**C** : taux de cendres totales

**DD** : degré de délitescence de *Mkartfa* sèche

**DDf** : degré de délitescence de *Mkartfa* fraîche

**DDs** : degré de délitescence

**FAO** : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

**H** : humidité

**IG** : indice de gonflement

**IG<sub>f</sub>** : indice de gonflement de *Mkartfa* fraîche

**IG<sub>s</sub>** : indice de gonflement de *Mkartfa* sèche

**K** : coefficient de conversion

**m<sub>f</sub>** : matière fraîche

**m<sub>s</sub>** : matière sèche

**N** : teneur en protéines

**P** : teneur en protéines

**PC** : partie comestible

**TA** : tel qu'acheté

**TOC** : Temps Optimum de Cuisson

**TOC<sub>s</sub>** : Temps Optimum de Cuisson de *Mkartfa* sèche

**TOC<sub>f</sub>** : Temps Optimum de Cuisson *Mkartfa* fraîche

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

Les aliments traditionnels sont des composants très importants du régime alimentaire des populations et la base de leurs habitudes alimentaires et nutritionnelles (DAGHER, 1991).

Le blé dur (*Triticum durum Desf.*) est l'une des denrées alimentaires la plus largement cultivée dans la région méditerranéenne et elle est la source principale de la semoule pour la production des pâtes, couscous et pain (RAFFIO et al., 2003).

Plusieurs pâtes traditionnelles sont préparées à base de semoule et occupent une place, loin d'être négligeable, dans le régime alimentaire des algériens. Elles sont largement consommées et appréciées. Ces pâtes alimentaires se présentent sous plusieurs types dont l'appellation diffère selon la recette, le mode de préparation, la forme et la technique de cuisson.

De nombreux spécialistes dans la nutrition humaine s'intéressent de plus en plus à la diversification et à l'emploi combiné de produits et même de sous-produits (germe de blé, de lactosérum, de caséine, de protéines de soja ou autres légumineuses, de protéines de poisson,...) dans les nouvelles formulations alimentaires, sans pour autant changer leurs qualités nutritionnelles et organoleptiques voir parfois les enrichir (BRENNAN et al., 2003 ; CHILLO et al., 2008b).

NAFIR (1995) a proposé d'utiliser l'épinard, qui est un légume feuille largement consommé, comme complément des céréales afin d'élever la valeur biologique de la ration alimentaire, grâce à sa teneur élevée en lysine.

À cet effet, nous envisageons la fabrication d'un type de pâte traditionnelle algérienne nommé «*Mkartfa* » en incorporant l'épinard en vue d'améliorer la valeur nutritive de ce produit du fait de la richesse de ce légume en éléments intéressants.

Il serait intéressant de procéder à l'incorporation d'épinard, qui a une valeur nutritive importante et peu coûteuse, dans la fabrication de quelques pâtes traditionnelles algériennes dans le but de :

- diversifier et enrichir la gamme des produits existants ;
- l'étude de la faisabilité de la pâte avec l'incorporation de différents taux d'épinard ;
- l'étude de la qualité culinaire des produits obtenus par comparaison au témoin à base de semoule.

A cet égard il est nécessaire de

- Procéder à des analyses physicochimiques de la matière première (semoule),
- Déterminer la teneur en gluten et sa qualité rhéologique avant et après l'incorporation d'épinard,
- Déterminer les propriétés physique et chimique des pâtes et des produits finis obtenus,
- Déterminer les propriétés organoleptiques des pâtes et des produits finis obtenus avant et après cuisson.
- Détermination des corrélations existantes entre les paramètres physicochimiques, culinaires et les caractéristiques sensorielles.

Ce travail, hormis l'introduction et la conclusion, est structuré en trois parties :

La première partie consiste en une synthèse bibliographique sur le blé, les pâtes alimentaires et l'épinard.

Dans la deuxième partie est alors exposé l'éventail des matériels et les méthodes mis en œuvre dans le cadre du travail expérimental.

Les résultats sont ensuite développés dans une troisième partie où ils sont discutés.

***1<sup>ère</sup> PARTIE***

***SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE***

# 1<sup>ère</sup> PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

## CHAPITRE I : LE BLE

### 1. Définition / origine

Le blé est l'une des plus anciennes plantes cultivées par l'homme. Il est déjà mentionné dans une œuvre historique chinoise datant de 2800 avant J-C. (KIGER et KIGER, 1967). Les blés hexaploïdes (blé tendre) sont apparus beaucoup plus tard (PORCEDDU, 1995).

Selon CALVEL (1984), nous désignons sous le nom de blé, les espèces du genre *Triticum* de la famille des Graminées. Le nom de cette céréale originaire du Moyen-Orient, aujourd'hui cultivée dans toutes les régions tempérées du globe, provient du latin médiéval *blada* (pluriel collectif neutre), récolte, dérivé du francique (germanique) *blad*, produit de la terre (COUPLAN, 2012).

C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (ŠRAMKOVA *et al.*, 2009).

### 2. Les différents types de blé

Selon APFELBAUM *et al.* (2004) et NYABYENDA (2005), il existe deux espèces de blé et chacune comprend de très nombreuses variétés.

- **Les blés durs** (*Triticum durum*) qui sont des tétraploïdes dont le nombre de chromosomes est de 28 (14 paires) (JEANTET *et al.*, 2007). Ils sont cultivés exclusivement pour leur semoule destinés à différentes préparations (biscuits, gâteaux et couscous), mais surtout à la fabrication des pâtes alimentaires (MAZOYER, 2002).
- **Les blés tendres** ou froment (*Triticum aestivum*) couramment cultivés, sont des hexaploïdes dont le nombre de chromosome est de 42 (21 paires). Leur amande (albumen) est relativement friable et leur donne une bonne aptitude à la transformation en farine (JEANTET *et al.*, 2007).

Chacune de ces espèces comprend des variétés dont les caractéristiques de composition, notamment les protéines, leur donnent une bonne aptitude à la panification (blé tendre) ou à la pastification (blé dur) (JEANTET *et al.*, 2007).

Selon ADRIAN *et al.* (1995), il est important de distinguer quatre types de blé :

- les blés tendres,
- les blés durs,
- les blés fourragers qui sont destinés à l'alimentation animale, et
- les blés améliorants ou correcteurs dont l'addition en faible quantité à d'autres blés permet d'obtenir des farines meilleures adaptées aux usages auxquels elles sont destinées.

### 3. Description de la plante

Selon NYABYENDA (2005), le blé développe en général plusieurs tiges sous forme de talles qui peuvent atteindre 1 à 1.5 m de hauteur, il forme des feuilles longues avec des ligules membraneuses courtes et des auricules poilues.

Le rachis ou l'axe de l'épi solide porte 15 à 25 épillets constitués chacun de 3 à 4 fleurs. La disposition de celles - ci fait ressortir que le blé dur est une plante autogame c'est-à-dire que la fécondation a lieu à l'intérieur des glumelles avant que les étamines n'apparaissent à l'extérieur. De ce fait la conservation de la pureté variétale sera parfaite d'une génération à l'autre (SOLTNER (1980) cité par HAMZA (2003)).

### 4. Description et Composition histologique

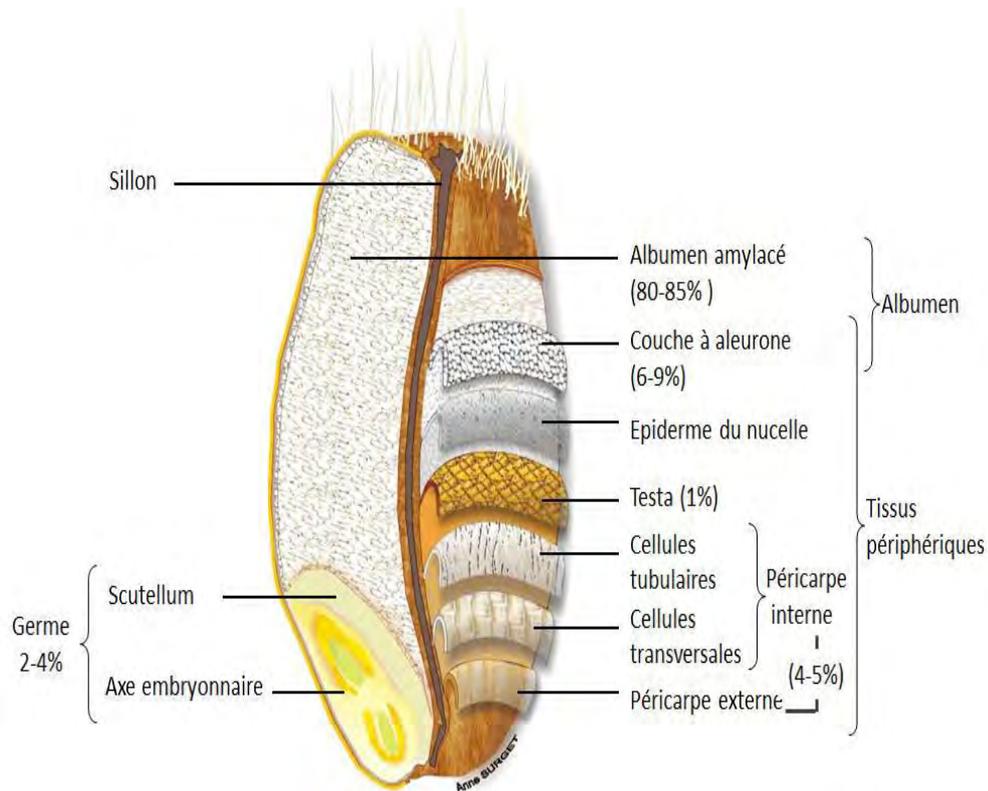
Selon CAVEL (1984) et FREDOT (2005), le grain de blé a une forme ovoïde, plus ou moins allongée, son examen révèle :

- Une face dorsale plus ou moins bombée,
- Une face ventrale comportant un sillon profond,
- À sa partie inférieure visible sur la face dorsale, le germe.

La couleur de grain de blé varie généralement du roux au blanc et pourpre à l'occasion (BOUDREAU *et al.*, 1992).

La longueur du grain de blé est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4 mm, son épaisseur entre 2.5 et 3.5 mm, sa section longitudinale entre 10 et 16 mm<sup>2</sup>, sa section transversale entre 4 et 7.5 mm<sup>2</sup>, son poids entre 20 et 50 mg et sa densité entre 1.3 et 1.4 (ŠRAMKOVA *et al.*, 2009).

La composition histologique du grain de blé est représentée dans la figure 01.



**Figure 1.** Composition histologique du grain de blé (SURGET et BARRON, 2005).

Selon BOUDREAU *et al.* (1992), le grain de blé ou caryopse comprend trois parties : les enveloppes ou son (13%), l'albumen (84%) et le germe (3%) (Figure 01).

**4.1. Les enveloppes :** elles ont un rôle de protection. Plusieurs couches successives sont distinguées de l'extérieur vers l'intérieur

- Péricarpe : il provient des cellules de l'ovaire, constitué par 3 couches qui sont l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe.
- Testa : elle est presque inexistante chez les céréales, cependant elle est importante chez le sorgho.
- L'épiderme : il est appliqué sur l'albumen (DOUMANDJI *et al.*, 2003).

Ces enveloppes, au cours de la mouture, donnent le son (DACOSTA, 1986).

Le son contient de faibles quantités de protéines, de grandes quantités des vitamines du groupe B, des traces de minéraux et il contient aussi des fibres cellulosiques dites diététiques (BLECH *et al.*, 2007).

Les techniques de réduction ne peuvent les séparer, à l'exception du péricarpe externe que l'on décolle par des techniques de friction après humidification (JEANTET *et al.*, 2007).

**4.2. L'albumen ou amande :** c'est une substance blanche friable constituée de grains d'amidon entourés par un réseau de gluten (FREDOT, 2005). Selon GODON (1991), cette partie de la graine est très développée et dans laquelle s'accumulent les réserves qui servent au développement de la plante lors des premiers stades végétatifs. Elle est constituée par une succession de couches :

- Assise protéique (couche à aleurone) qui est très riche en protéines ;
- Cellule de l'albumen avec granules d'amidon dans une matrice protéique (DOUMANDJI *et al.*, 2003).

Sa partie inférieure est délimitée par le germe (FREDOT, 2005).

**4.3. Le germe :** Il constitue la future plante et assure l'identité génétique de la variété (BOUDREAU, 1992). Il est composé de :

- l'embryon ;
- le scutellum qui entoure l'embryon, le protège et joue un rôle nourricier (FREDOT, 2005).

Selon GODON et WILLM (1991) et FEILLET (2000), le germe du grain de blé est riche en lipides, en protéines, en vitamines et en éléments minéraux.

## 5. Composition biochimique

NAMOUNE (1981) rapporte que la composition biochimique du grain de blé est sous la dépendance d'un certain nombre de facteurs tels que : le climat, la variété, la nature du sol, les amendements et les techniques culturales.

Les diverses familles de constituants sont représentées dans toutes les parties de la graine (GODON, 1991). Les grains se caractérisent par leur richesse en amidon, des taux de protéines moyens et des faibles teneurs en lipides (JEANTET *et al.*, 2007). Les autres constituants présentent des teneurs très variables selon la situation du tissu considéré (GODON, 1991).

Les produits ainsi fabriqués dépendent de la structure, des interactions entre les différents constituants du grain (protéines, amidon,...), de leurs propriétés physico-chimiques et rhéologiques (DIB, 2013).

Les principaux constituants des grains de blé sont représentés dans le tableau 01.

**Tableau 01.** Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé  
(FEILLET, 2000)

	Grain	Péricarpe		Aleurone		Albumen		Germe	
	% G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G
<b>Protéines</b>	13,7	10	4,4	30	15,3	12	73,5	31	6,8
<b>Lipides</b>	2,7	0	0	9	23,6	2	62,9	12	13,5
<b>Amidon</b>	68,9	0	0	0	0	82	100	0	0
<b>Sucres réducteurs</b>	2,4	0	0	0	0	1,8	62,7	30	37,3
<b>Pentosanes</b>	7,4	43	33,1	46	43,8	1,6	18,3	7	2,9
<b>Cellulose</b>	2,8	40	87,1	3	7,6	0,1	3,1	2	2,2
<b>Minéraux</b>	1,9	7	22,6	12	43,6	0,5	22,6	6	9,7

% G : % des constituants dans le grain, % T : % des constituants dans le tissu.

## 5.1. Glucides

Ils constituent la majeure partie de l'albumen (DOUMANDJI *et al.*, 2003). La zone interne de l'amande est particulièrement riche en glucides surtout sous leur forme polymérisée, l'amidon (GODON, 1991).

### 5.1.1. Amidon

Il représente la majeure partie des glucides assimilables (59%) répartis ainsi 25% d'amylose et 75% d'amylopectine (FREDOT, 2005). L'amidon de blé se présente au microscope sous forme de granules. Ces granules représentent la réserve de sucre (glucose) créée au cours de la photosynthèse (JEANTET *et al.*, 2007).

### 5.1.2. Fibres alimentaires

L'écorce est principalement riche en fibres, lignine, cellulose et hémicellulose, d'où l'intérêt diététique des pains issus de farine complète, du son et des pains au son (VIERLING, 1999). Selon (FREDOT, 2005), les fibres ont un intérêt dans la régulation du transit intestinal ainsi que dans la prévention du cancer du côlon.

La cellulose est le principal polyholoside de structure des végétaux (CHEFTEL et CHEFTEL, 1984). Selon SCHLENBERGER (1964) cité par NAMOUNE (1981), la proportion la plus fréquente de la cellulose dans les grains des céréales est de 2,5%. Elle résulte de la condensation linéaire d'unités de glucoses unies entre elles par des liaisons  $\beta(1\rightarrow4)$  (ALAIS, 2003). Les fibres de cellulose forment entre elles des structures cristallines insolubles présentant peu d'affinité pour l'eau (JEANTET, 2007).

Les pentosanes agissent aussi comme agents de liaison de l'eau au cours du pétrissage (BOUDREAU *et al.*, 1992).

Les pentosanes solubles peuvent établir un réseau glutineux qui enchâsse les grains d'amidon et permet la continuité de la structure de la pâte (ROUAU, 1990).

L'addition de pentosanes ou ces fractions aux pâtes immobilise une grande quantité d'eau libre qui conduit à l'obtention de pâtes dures et sèches (KULP et BECHTEL (1963) cité par NAMOUNE (1996)).

D'autres études de reconstitution montrent que lorsque les pentosanes sont omis, la pâte devient lâche, humide et molle. Leur adjonction à la pâte la rend visqueuse et sèche et restaure son modelage normal (PYLER (1988b) cité par NAMOUNE (1996)).

### 5.1.3. Glucides simples

Ils sont constitués par le glucose, du fructose, du saccharose et du raffinose (FREDOT, 2005).

## 5.2. Lipides

Selon GODON (1991), les lipides représentent en moyenne 2 à 3% du grain sec des céréales sous forme libres, mais la majorité sont associées aux protéines et à l'amylose.

Les lipides de blé sont précocement synthétisés. Leur teneur diminue au cours de la maturation au fur et à mesure que les protéines et l'amidon sont eux même synthétisés (FEILLET, 2000). Seule l'assise protéique et le germe sont riches en ester d'acide gras (50 à 60% des acides gras sont polyinsaturés) (VIERLINIG, 1999).

DOUMANDJI *et al.* (2003) rapporte que l'élévation de l'acidité grasse est l'origine de phénomène de rancissement qui s'accroît tout au long de la période de la conservation du grain, des semoules et des farines.

## 5.3. Protéines

Les protéines sont des protides dont l'hydrolyse donne des acides aminés mais dont la molécule de grande taille, dite macromolécule, renferme des liaisons autres que les liaisons peptidiques (GODON, 1991).

VIERLING (1999) indique que les protéines représentent 9 à 12 g/100 g de blé. Ces protéines sont classées selon OSBORNE (1907) d'après leur solubilité en albumines solubles dans l'eau, globulines solubles dans les solutions salines, gliadines solubles dans les solutions alcooliques et gluténines solubles dans les solutions diluées d'acides ou dans les solvants organiques (AUTRAN (1970) cité par NAMOUNE (1981)).

Mais l'évolution des techniques de fractionnement et d'analyse a permis une classification plus fine des protéines, basées sur leurs caractéristiques structurales et génétiques (SHEWRY *et al.* (1986) cité par DIB (2013)).

Les protéines à activité métabolique sont notamment des enzymes impliqués dans le développement du grain et dans sa germination (DACOSTA, 1986).

En effet, la teneur en pigments caroténoïdes est associée à l'activité de la lipoxygénase qui est responsable de la dégradation oxydative des pigments caroténoïdes au cours du stockage des grains, puis s'accroît après la transformation du blé en semoule et aussi lors de la transformation des pâtes (BORRELLI *et al.*, 2003).

Les différents types de protéines sont classés d'après leur caractéristique de solubilité dans le tableau 02.

**Tableau 02.** Composition en protéines du grain de blé(CHEFTEL et CHEFTEL, 1984 ; FEILLET, 2000)

Solvant	Groupe protéique	% Protéines totales	Poids moléculaire
Eau	albumines	15	5000-30000
NaCl 0,5 N	globulines	5	20 000-90 000
Ethanol 70 %	gliadines	30-40	25 000-75 000
Acide acétique 0,01 N	gluténines solubles	15-20	100 000 et plus
Résidu insoluble	gluténines insolubles	25-35	1000000 et plus

#### 5.4. Autres constituants

Les sels minéraux sont représentés mais, évidemment, dans des proportions très différentes. L'élévation du taux de cendres est en relation avec la présence d'une plus grande proportion d'éléments périphériques (enveloppe et assise protéique) (BOUDREAU *et al.*, 1992).

Selon VIERLING (1999), les teneurs pour 100g de grain de blé sont : Sodium (8mg), potassium (330mg), phosphore (400mg), calcium (45mg) et magnésium (130mg).

Les grains de céréales sont naturellement peu hydratés, dont la teneur en eau est environ 14%. Selon GODON (1991), l'eau a une fonction d'abord protectrice de l'embryon, puis ensuite nourricière de la jeune plante. FREDOT (2005) rapporte que cette faible teneur en eau permet au grain d'être stocké longtemps en évitant ainsi le développement des micro-organismes et plus particulièrement les moisissures.

Le blé est une source intéressante en vitamines de groupe B (VIERLING, 1999). La seule vitamine liposoluble présente dans le grain de blé est la vitamine E (FREDOT, 2005).

Les teneurs de ces vitamines sont variables d'après les auteurs selon le sol, les variétés des blés, les climats.

Il contient aussi des composés antioxydants (acides phénoliques, caroténoïdes) et des substances à activités hormonales (lignanes) (SHEWRY, 2009).

## CHAPITRE II : LES PÂTES ALIMENTAIRES

### 1. Définition

Les pâtes alimentaires constituent l'un des aliments les plus universellement consommés. Selon ALAIS *et al.* (2003), les pâtes alimentaires résultent de la dessiccation d'un pâton non fermenté, moins hydraté que celui du pain et obtenu à partir de semoule du blé dur. La pâte est ensuite soumise à un laminage et un tréfilage, puis au séchage.

La simplicité de leur fabrication, leur facilité de transport, leur excellente aptitude à la conservation et au stockage, leur bonne qualité nutritionnelle et hygiénique, la diversité des modes de préparations sont autant d'atouts qui favorisent leur utilisation et leur consommation (PETITOT *et al.*, 2009a).

ALAIS et LINDEN (1997) indiquent qu'elles ont finalement la composition moyenne suivante : eau (9 %), protéines (13 %), lipides (1,5 %) et glucides (76 %).

### 2. Classification des pâtes alimentaires

Selon RENAUDIN (1951) et TREMOLIERE *et al.* (1984), les pâtes alimentaires sont classées en deux groupes selon les machines utilisées pour fabrication.

**2.1. Les pâtes pressées ou tréfilées :** C'est une pâte comprimée par une presse à travers une filière qui sert de moule dont on obtient les formes classiques (telles que le spaghetti) ou coupées à volonté de manière à obtenir des pâtes longues ou courtes.

**2.2. Les pâtes laminées :** Ce type de produit est abaissé par laminage entre deux cylindres et est réduit en feuilles larges et minces. Celles-ci sont soit divisées en rubans, soit amenées sur des machines munies d'emporte-pièces ce qui donne la forme désirée.

### 3. Matière première

#### 3.1. La semoule

La semoule est un produit de mouture obtenu à partir de céréale à amande cornée ou vitreuse, non farineuse (ADRIAN *et al.*, 1995 ; ABECASSIS, 1991).

Selon ROUDAUT et LEFRANCQ (2005), la semoule est classée en fonction du diamètre des tamis (fin, moyen, gros).

La semoule est destinée essentiellement à la production des pâtes alimentaires. Elle est utilisée aussi pour la production du pain et de certains gâteaux.

La composition chimique de la semoule est représentée dans le tableau 03.

**Tableau 03.** Composition chimique de la semoule, teneur en % de matière sèche

(SELSELET, 1991).

Composition	Glucides	Matières azotées	Matières grasses	Matières minérales
Teneurs (%)	83.55 – 90.35	8 - 14	1.2 – 1.8	0.45 – 0.65

La qualité technologique d'une semoule pour la fabrication des pâtes alimentaires est définie par son aptitude à donner des produits finis dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs. Ces deux caractéristiques sont influencées par la composition biochimique et l'état physique (granulométrie) des semoules, eux même liés à l'origine histologique des produits (ABECASSIS, 1991).

#### 3.2. L'eau

Selon CALVEL (1984), l'eau joue un rôle majeur au cours de la confection de la pâte. C'est un liquide incolore, inodore, agréable au goût, ne renferme que des traces de matière organiques pas d'ammoniac, pas de germes pathogènes. Elle gonfle le grain d'amidon et favorise l'assouplissement et l'allongement du gluten ce qui donne à la pâte ses propriétés de plasticité.

Elle fournit aux molécules (protéines et enzymes) la mobilité nécessaire pour réagir et elle participe elle-même aux réactions (GUINET et GODON, 1994).

Selon de nombreuses observations faites par les industriels, il ressort que la qualité de l'eau utilisée au cours de l'embâtage peut exercer une influence non négligeable sur l'aspect et le comportement des produits finis au cours de la cuisson. Des eaux de faible dureté hydrotimétrique sont généralement recommandées (FEILLET, 2000).

### 3.3. Le sel

Chimiquement le sel est du chlorure de sodium (Na cl), c'est un corps très répandu dans la nature. On le rencontre à l'état solide ou à l'état liquide (CALVEL, 1984).

D'après FREDOT (2005), le sel améliore :

- les qualités organoleptiques de la pâte en lui donnant sa saveur ;
- les qualités mécaniques de la pâte. Elle est ainsi plus facile à travailler.

## 4. Technologie de fabrication des pâtes alimentaires

Aujourd'hui, le procédé de fabrication des pâtes alimentaires est automatisée. Les lignes de fabrication de pâtes alimentaires comprennent des lignes pour pâtes longues, des lignes pour pâtes courtes et des lignes pour pâtes spéciales.

Le couscous (produit assimilé aux pâtes) est fabriqué dans des lignes distinctes de celles des pâtes alimentaires.

Le procédé pastification comprend un certain nombre d'opérations successives ; Il comporte trois étapes fondamentales (BOUDREAU *et al.* 1992 ; FEILLET, 2000 ; PETITOT *et al.*, 2010):

1. L'hydratation/ malaxage de la semoule ;
2. Formage ou façonnage (extrusion/ laminage) ;
3. Séchage.

#### 4.1. Hydratation / Malaxage

Selon BOUDREAU *et al.* (1992), avant la mise en œuvre, il est nécessaire de procéder à une dernière épuration de la semoule, par un tamisage, afin de la débarrasser des poussières de farine et de quelques impuretés.

Les pâtes alimentaires sont fabriquées en mélangeant de l'eau, éventuellement des œufs et de la semoule dans un malaxeur.

La quantité d'eau ajoutée pour l'hydratation est environ 25 à 34 kg/100 kg de semoule, de manière à ce que la teneur en eau final soit voisine de 44 à 49 % de la matière sèche. Cette quantité d'eau compte tenu de l'humidité initiale de la semoule qui se situe généralement aux environs de 14 % (ms) (FEILLET, 1986 ; ABECASSIS *et al.*, 1994). Le mélange des constituants de la pâte s'effectue dans un malaxeur qui tourne à 120 tours /min pendant 20 minutes (PETITOT *et al.*, 2010). Le malaxage ne développe pas la pâte et ne modifie que très partiellement les propriétés physico-chimiques des protéines. (FEILLET, 1986).

#### 4.2. Formage ou façonnage (extrusion / laminage)

Le façonnage de la pâte est assuré soit par laminage, soit par extrusion. Les deux techniques utilisées sont différentes au niveau de l'énergie mécanique dont elle employée pour le formage de la pâte (ABECASSIS *et al.*, 1994). L'énergie transférée à la pâte est plus élevée avec le procédé d'extrusion qu'à celui de laminage et une partie de celle-ci est dissipée sous forme de chaleur.

##### 4.2.1. Extrusion

La pâte provenant de la vis d'extrusion passe à travers des filières qui lui donneront la forme recherchée. Les filières assurent le développement final de la pâte. (BOUDREAU *et al.*, 1992). Selon FEILLET (1986) et KRUGER *et al.* (1996), les pressions auxquelles est soumis la pâte au cours de cette opération peuvent dépasser 100 kg/cm<sup>2</sup> et semble être essentielle pour donner la compacité nécessaire au produit final pour une meilleure tenue à la cuisson.

Un système de refroidissement à circulation d'eau situé autour du cylindre d'extrusion et de la tête de presse permet d'éviter un accroissement excessif de la température qui doit rester inférieur à 50°C afin d'éviter une dégradation des constituants de la semoule (PETITOT *et al.*, 2009c).

La forme des filières, la vitesse d'extrusion et les conditions de découpe déterminent le format des produits finis.

#### **4.2.2. Laminage**

Dans le processus de laminage, la pâte est pétrie et laminée en feuille entre deux cylindres rotatifs. Trois à cinq paires de rouleaux, avec une diminution des lacunes des rouleaux sont utilisés jusqu'à ce que la feuille atteigne l'épaisseur désirée. La feuille est ensuite coupée en brins de largeur et de longueur souhaitées.

#### **4.3. Séchage**

Le séchage est fait de manière à ce que l'humidité finale des produits ne dépasse pas 12,5% de la matière humide (BOUDREAU *et al.*, 1992 ; FEILLET, 2000). Les températures étaient maintenues suffisamment basses pour éviter la dénaturation des protéines et la gélatinisation de l'amidon.

Le séchage devenait une opération active ayant non seulement pour objectif de ramener les produits finis à leur teneur en eau requise mais également de provoquer une profonde transformation des caractéristiques physico-chimiques des pâtes pour en améliorer l'aspect et le comportement durant la cuisson (DIB, 2013).

Des températures élevées de séchage conduisent à la meilleure qualité culinaire du produit final avec une fermeté élevée, une diminution des pertes à la cuisson et le caractère collant (AKTAN *et al.*, 1992 ; ZWEIFEL *et al.*, 2003).

### **5. Qualité des pâtes alimentaires**

La qualité des pâtes alimentaires détermine leur acceptabilité par les consommateurs. Selon RENAUDIN (1951), la qualité des pâtes alimentaires dépend essentiellement de celle des matières premières employées, de l'eau ayant servi à la fabrication et des soins apportés dans la préparation, au séchage et à la conservation.

Les propriétés qui déterminent la qualité des pâtes alimentaires sont leur aspect à l'état cru et leur comportement durant et après la cuisson, leur valeur nutritionnelle et leur état hygiénique (FEILLET, 2000).

## 5.1. Qualité organoleptique

Les critères d'évaluation de la qualité organoleptique des pâtes alimentaires recherchés par le consommateur final sont l'aspect avant la cuisson et la tenue après la cuisson (TRENTESAUX, 1995).

### 5.1.1. Aspect des pâtes alimentaires

RENAUDIN (1951) et FEILLET (2000) rapportent que les caractéristiques qui déterminent l'aspect des pâtes alimentaires sont :

- Gerçures : ce sont des fêlures de la pâte sèche dues à un mauvais réglage du séchoir ;
- Piqûres : elles peuvent être blanches, brunes ou noires ;
- Texture superficielle des pâtes: qui dépend de la nature des moules utilisés ;
- Couleur des pâtes : elle doit être uniforme.

### 5.1.2. Qualité culinaire des pâtes alimentaires

Selon RENAUDIN (1951), TRENTESAUX (1979), FEILLET (1986) et PORCEDDU (1995) cités par BOUKEZOULA (2003), la qualité culinaire des pâtes est évaluée par :

- Les temps de cuisson qui varient avec le format de la pâte. Pour celles du même format, ils varient avec la qualité de la pâte. Ces temps de cuisson sont déterminés en fonction du gonflement, de la texture et de l'état de surface ;
- Le gonflement de la pâte pendant la cuisson qui est calculé par différence entre le poids des pâtes avant et après cuisson ;
- La texture du produit cuit est caractérisée par la fermeté et la masticabilité après cuisson ;
- L'état de surface est caractérisé par le collant (prise en masse ou degré d'adhésion) et l'aspect plus ou moins lisse des produits cuits (délitescence) ;
- L'état de cuisson doit être « aldent », c'est-à-dire que les pâtes doivent résister légèrement sous la dent et garder un niveau de fermeté (VIERLING, 1999).

## 5.2. Qualité hygiénique

Elle est considérée comme excellente, ne pose pas de problème particulier, bien que les micro-organismes trouvent un milieu favorable à leur développement au cours du séchage (maintien de produits réhydratés à 40-50°C pendant plusieurs heures. Généralement, seules des bactéries saprophytes, dont la présence ne constitue aucun danger (FEILLET, 2000).

## 5.3. Qualité nutritionnelle

Actuellement, les pâtes alimentaires sont consommées dans le monde entier et leurs qualités nutritionnelles et énergétiques sont bien reconnues. Elles sont plus énergétiques que le pain, que les pommes de terre et la viande.

L'apport protéique est loin d'être négligeable, puisque 100 g de pâte contiennent de 10 à 12 g de protéines et que cette valeur passe de 12 à 14 g dans le cas des pâtes aux œufs. Ces protéines sont déficientes en acides aminés indispensables, en lysine notamment. Rappelons que le séchage à haute température diminue l'apport de lysine disponible et altère de ce fait légèrement la valeur nutritionnelle des produits obtenus (FEILLET, 2000).

## 6. Rôles des constituants de la semoule dans la pastification

### 6.1. Rôles des protéines

Au cours de la cuisson, les protéines forment un réseau insoluble piégeant et retenant dans ses mailles les autres composants et spécialement les granules d'amidon gonflés et en cours de gélatinisation (FEILLET (1984) cité par BAHCHACHI (2002)).

Les gliadines et les gluténines forment le réseau de gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques des pâtes (BLOKSMA, 1990b).

Très extensibles quand elles sont hydratées, les gliadines (qui posséderaient des propriétés plastifiantes) confèrent à la pâte son extensibilité, sa viscosité et sa plasticité. La ténacité et l'élasticité de la pâte s'expliquent par les propriétés très particulières des gluténines pour maintenir les granules d'amidons gélatinisés au cours de la cuisson (WRIGLEY *et al.*, 2006).

De nombreuses études ont montré qu'il y a une forte corrélation entre le rapport des gluténines /gliadines et la force de la pâte (WASIK et BUSHUK, 1975 ; DEXTER et MASTUO, 1978; SISSONS *et al.*, 2005 b).

EDWARDS *et al.* (2003) trouve que l'addition d'une fraction riche en gluténines (constituée de SG-HPM et SG-FPM) à une semoule basse augmente la force des pâtes.

Le contenu en protéines et la force du gluten jouent un rôle prépondérant dans la détermination de la qualité des pâtes notamment la qualité culinaire. Les propriétés fonctionnelles du gluten lui permettent au cours de la pastification, de former un réseau tridimensionnel imperméable, la quantité de gluten et la qualité de ses protéines sont des facteurs prédéterminant de la valeur pastière de la semoule (AUTRAN *et al.*, 1986 ; D'EGIDIO *et al.*, 1993 ; EDWARDS *et al.*, 1993 ; FEILLET et DEXTER, 1996 ; FEILLET, 2000).

## 6.2. Rôles des lipides

Bien que leur teneur dans les semoules ne dépasse pas 2 à 3 %, les lipides jouent un rôle important en pastification en particulier la qualité culinaire, du moins ceux qui ne sont pas liés à l'amidon. Les lipides constituent un facteur déterminant de la couleur de la pâte. Elle est établit au cours de la période de fabrication des pâtes en raison de l'oxydation des pigments jaunes sous l'action des lipoxygénases principalement au cours de l'hydratation, malaxage, extrusion et pendant l'étape de séchage (SISSONS, 2008).

L'élimination des lipides totaux et lipides non polaires augmentent le caractère collant des pâtes et les pertes à la cuisson (SISSONS, 2008). Au cours de l'étape de malaxage de la pâte, les lipides libres interagissent avec les composants de la semoule essentiellement les protéines ce qui conduit à l'amélioration de la force du gluten. Le processus de mélange accélère la formation des liaisons hydrophobes des lipides non polaire avec les composants solubles dans l'acide comme le glutenine, gliadine, albumines et les composants non azotés (CHUNG, 1986).

Les lipides polaires interagissent principalement avec les glutenines. Les lipides polaires libres peuvent également se lier à la gliadine par des liaisons hydrophiles. Ces liaisons améliorent les interactions de protéines ce qui fournissent un meilleur support structural pour le réseau du gluten (CHUNG *et al.*, 1978).

## 6.3. Rôle des glucides et polyosides

L'amidon et ses composants interviennent de différentes manières au cours de la fabrication des pâtes, C'est un fixateur d'eau, il absorbe environ 45 % de l'eau ajoutée à la semoule. Par son pouvoir fixateur d'eau, variable selon le degré d'endommagement des granules et sa capacité à former des liaisons non covalentes avec les protéines, l'amidon contribue de manière active à la formation de la pâte (FEILLET, 2000).

La teneur en amylose influence les propriétés d'élasticité et extensibilité de la pâte qui traduit les modifications et le comportement à la cuisson : avec l'augmentation de niveau d'amylose, la pâte a des grandeurs d'extensibilité et d'élasticité réduits (HUNG *et al.*, 2005) et donc une tendance à l'augmentation de la fermeté de la pâte.

Ceux-ci sont expliqués par l'effet de forte liaison et gonflement des granules en fonction de la teneur en amylose et par conséquent une grande résistance à la rupture et à la déformation d'une part, d'autre part, une réduction des pourcentages d'absorption d'eau et donc de faibles pertes à la cuisson (SOH *et al.*, 2006).

La capacité de l'amylose de limiter le gonflement peut contribuer à la baisse de la prise d'eau à la cuisson et l'augmentation de la délitescence est la résultante de l'augmentation de la disponibilité de lixiviation de l'amylose au cours de la cuisson (SISSONS, 2008).

Les pentosanes jouent un rôle important dans l'établissement des propriétés rhéologiques des pâtes, d'une part participant à la compétition vis-à-vis de l'eau avec les protéines du gluten et l'amidon. Dans la pâte, la forte capacité d'adsorption d'eau des pentosanes influence la répartition de celle-ci. À faible dose, les arabinoxylanes solubles favorisent la répartition homogène de l'eau et l'établissement de liaisons hydrogènes avec l'amidon et les protéines. De plus, la forte capacité d'adsorption d'eau des pentosanes insolubles modifie le développement du gluten en entrant en compétition avec ce dernier pour la fixation de l'eau (WANG *et al.*, 2003).

## **7. Pâtes alimentaires traditionnelles algériennes**

Les pâtes traditionnelles restent toujours, pour les algériens, le symbole de joie et de réunions familiales. Selon l'enquête réalisée par ABAZ et ABDELAZZIZ (1999) citée par BOUKEZOULA (2003) et par BAHCHACHI (2002), la consommation des pâtes augmente avec les périodes des fêtes religieuses et familiales. Elles sont surtout consommées pendant l'*Aïd*, *Achoura*, *Mouloud*, mariage, réussite et présence des invités.

La production des pâtes alimentaires traditionnelles algériennes n'introduit aucune machine, c'est une fabrication totalement manuelle. Les ingrédients de base pour obtenir une pâte grossière sont la semoule, le sel et l'eau.

Cette pâte va subir un pétrissage qui donne à la fin une pâte molle, lisse et non collante (OTHMANI MARABOT, 2006). Dans certains cas, il y a addition d'œufs aux ingrédients pour améliorer la coloration et la qualité nutritionnelle de la pâte.

BAHCHACHI (2002) indique qu'il faut faire très attention car de nombreux produits portent des noms à consonance proche alors qu'il s'agit de produits bien distincts. C'est ainsi que le « Theride » décrit par GAUDRY n'a rien à avoir avec la « Trida ». Il en est de même pour « Chekhchoukha » très différente du « Chekhchoukh » cité par CHEHAT (2000) ou encore le « Rfis » de l'ouest et le « Rfis » de l'est.

Chaque pâte traditionnelle fabriquée a une forme caractéristique. Dans certains cas la pré-cuisson sur *tajine* est nécessaire pour donner la forme finale d'une pâte type Chekhchoukha. (OTHMANI MARABOUT, 2006). Certaines pâtes alimentaires traditionnelles algériennes nécessitent ou exigent une cuisson à la vapeur, alors que d'autres sont cuites par immersion dans une sauce ou dans l'eau.

On peut classer les pâtes traditionnelles algériennes selon plusieurs critères :

- Selon la forme : il existe plusieurs classes.
- Selon l'étape qui précède la mise en forme : on peut les classer pâtes précuites en *tajine* et pâtes non cuites sur *tajine*.
- Selon la présence ou l'absence de séchage, on distingue pâtes sèches et pâtes fraîches.

Selon BOUKEZOULA (2003), la plupart des pâtes traditionnelles n'ont pas connu le mode de fabrication industrielle. Le budget temps des ménages ne permet plus leur réalisation ce qui augmente la demande. BAHCHACHI (2002) indique que les prix de ces produits sont plus élevés que ceux des pâtes industrielles.

En Algérie, on peut citer les préparations domestiques suivantes (CHEHAT, 2000 ; BAHCHACHI, 2002 ; BOUKEZOULA, 2003 ; OTHMANI MARABOUT, 2006) :

- *Trida*: découpées en petits carrés et cuites à la vapeur.
- *Rechta*: forme d'allumettes, servie en sauce tomate.
- *Chekhchoukha*: feuilles très fines cuites sur *tajine* puis découpées en petits morceaux sous forme d'écailles et servie avec une sauce.
- *Chekhchoukha avec les épinards* : les épinards sont cuits dans l'eau, essorés puis additionnées de *Chekhchoukhacuite* à la vapeur et de l'huile d'olive.

On peut citer aussi : *Tlitli*, *Tridet el tajine*, *Douida*, *Msemnet*, *Mkartfa*.

Cette dernière est une pâte fraîche et simple qui ne nécessite ni une pré-cuisson ni un séchage, dans la plupart des cas. Elle est cuite directement en sauce ou au lait.

La sauce contient essentiellement du sel, tomate concentré et fraîche, l'oignon, le poivre et la matière grasse. Les autres épices et légumes sont facultatives selon les goûts et les habitudes alimentaires des gens. L'avantage de *Mkartfa* c'est qu'elle n'exige pas la présence de viande. Elle est consommée surtout en hiver.

## **8. Pâtes enrichies**

Les traditions culinaires de la plupart des civilisations montrent que depuis l'antiquité les hommes ont empiriquement rééquilibré la valeur protéique d'une alimentation carencée en protéines animales en associant céréales et légumineuses (FAO, 1990).

L'équilibre en acides aminés apportés par cette supplémentation devra permettre une meilleure assimilation de ceux-ci par l'organisme (BENATALLAH, 2009).

L'enrichissement en protéines a fait l'objet de nombreux travaux (incorporation de germe de blé, de lactosérum, de caséine, de protéines de soja ou autres légumineuses, de protéines de poisson). L'insuffisance des propriétés organoleptiques des produits obtenus, que ce soit leur tenue à la cuisson, leur arôme ou leur goût (développement d'amertume notamment), s'est opposée à la commercialisation de ces produits (DIB, 2013).

Les pâtes alimentaires enrichies en protéines d'œufs sont aujourd'hui les seules à occuper une place significative sur le marché.

## CHAPITRE III : L'ÉPINARD

### 1. Description et taxonomie

Selon MUNRO et SMALL (1998) et AGRAPHID *et al.* (1999), l'épinard est une plante herbacée annuelle, aujourd'hui cultivée dans toutes les régions tempérées du monde. Il est très reconnaissable à ses longues feuilles vertes, frisées ou plates selon les variétés (LACOSTE, 2014).

L'épinard appartient à la famille des chénopodiacées qui regroupe des légumes cultivés pour la consommation de leur feuilles comme l'épinard, les cardes, ou de leur racine comme la betterave potagère.

**Nom scientifique (latin) :** *Spinacia oleracea*

**Nom vulgaire français :** épinard

**Nom vulgaire anglais :** spinach

**Famille :** Chénopodiacées

**Groupe :** foliacées

Selon BOULLARD (2001), l'épinard est une plante dressée, à tige creusée-sillonnée. Ses feuilles alternes, entières, sont pétiolées et sagittées. Les fleurs sont unisexuées. L'épinard forme une rosette foncée, glabre ; parfois gaufrée et à pétiole souvent de même longueur que le limbe (MAZOYER, 2002).

### 2. Origine et répartition géographique

L'épinard aurait tout d'abord été cultivé dans les régions revenant aujourd'hui à l'Afghanistan et au Tadjikistan (MUNRO et SMALL, 1998). Il est probablement origine du nord de l'Iran, de l'Afghanistan et du Turkménistan où l'on trouve des espèces sauvages apparentées telles que *Spinacia tetrandra* et *Spinaci aturkestanica*. Selon BOULLARD (2001), Il semble que l'épinard n'était pas connu des Grecs et des Romains de l'Antiquité (MUNRO et SMALL, 1998).

BOULLARD (2001), MAPPA (2010) et LACOSTE (2014) rapportent que l'épinard a été introduit en Europe à partir du VIII<sup>e</sup> siècle lors des conquêtes arabes. Utilisé d'abord comme plante médicinale. Cette plante, ramenée en France par Catherine de Médicis, est aussi nommée « herbe de perse ».

L'épinard continuera d'être un légume-feuille très important, nutritif et à rendement élevé dans les climats tempérés d'Europe, d'Amérique du Nord et d'Asie orientale. En Afrique tropicale, sa culture restera cantonnée dans les hautes terres.

### 3. Variétés

Il existe de nombreuses classifications des cultivars, fondées sur les caractéristiques du fruit et de la feuille.

Une grande division est celle entre cultivars à fruits épineux, également classés comme var. *oleracea*, et cultivars à fruits ronds, non épineux, classés var. *inermis* (Moench) Metzg.

- La var. *inermis* (moench) Metzg., aux fruits ronds et lisses, elle se connaît sous le nom d'épinard à graine ronde, épinard rond ou épinard d'été ;
- La var. *oleracea*, connue sous le nom d'épinard piquant ou épinard d'hiver, aux fruits épineux, et dont la plante est plus étendue et a plus de ramification que la var. *inermis*, qui se plante en printemps ou au début de l'été en vue d'une récolte hâtive. Elle se cultive également à la fin d'été en vue d'une récolte d'automne. La variété *oleracea* semble en être la forme la plus primitive (MUNRO et SMALL, 1998).

Les cultivars sont également groupés en fonction de la couleur de la feuille (vert pâle ou vert foncé) et de sa texture (lisse, semi-lisse et cloquée).

Exemples de cultivars selon MUNRO et SMALL (1998):

- Epinard à feuilles froissées : America, Longstanding Bloomsdale Dark Green, Vienna.
- Epinard à feuilles semi-froissées : Melody, Tyee.
- Epinard à feuilles lisses : Olympia, Symphony.

D'après BROSSARD *et al.*(2002), Le choix des variétés cultivées est établi selon la saison de culture et la résistance au mildiou. On trouve des variétés de printemps, à cycle court et résistant à la montée à grain (Boléro, Caventa, Ballet, Taurus), d'automne (Symphonie, Mazark, Pavana, Ttriptik) et d'hiver (Wintra, Geant d'hiver, Imperial) (MAZOYER, 2002).

#### 4. Culture

L'épinard est souvent une culture de plein champ. Il occupe dans la rotation la place d'une culture dérobée. Elle se fait par semis en fin d'été, sur un sol tassé et frais car l'épinard a le défaut de monter vite à graine en période de forte chaleur (MAPPA, 2010). Selon MAZOYER (2002), l'épinard réclame un sol sablo-argileux meuble bien drainant, fraîcheur des 5°C (optimum de germination à 16-20°C) et, à l'état jeune supporte bien le froid, jusqu'à -7°C. Il est sensible à la chlorose due à un blocage du magnésium, du manganèse ou du bore.

On préconise des distances de plantation de 30 cm entre les rangs et de 12 à 15 cm entre les pieds d'épinard sur le rang. Il est important de choisir des variétés en fonction des régions, selon leur comportement au froid (MAPPA, 2010).

Selon MAPPA (2010), L'épinard est une plante rustique peu sensible aux maladies et aux parasites et aux attaques de pucerons. elle est attaquée par le mildiou (*Peronospora farinosa* f.s.p sponaciae) en printemps humide, tolérant mal la chaleur estivale, et succombant au virus de la mosaïque du concombre dès le 15 juin (MESSIAEN et MESSIAEN-PAGOTTO, 2009).

#### 5. Récolte

Si la récolte se fait à la main, MUNRO et SMALL (1998) rapportent qu'il est recommandé, pour maximiser la qualité, de cueillir régulièrement les feuilles qui parviennent à maturité. La récolte est manuelle avec plusieurs coupes, la première se situe au stade de 7 ou 8 feuilles.

Lorsqu'il s'agit d'épinard destiné à la transformation (épinard en branche ou épinard haché, selon la qualité de produit), la récolte est toujours mécanisée et rapide. Les récolteuses mécaniques servent généralement à couper les plantes juste au-dessus du niveau du sol. Elle se fait en avril-mai pour l'épinard de printemps, de septembre à début novembre pour l'épinard d'automne et en mars pour l'épinard d'hiver (MAZOYER, 2002 ; MUNRO et SMALL, 1998).

#### 6. Composition

L'épinard est consommé comme légume. Les feuilles se consomment crues ou cuites. L'analyse de l'épinard est très complète, car c'est l'un des légumes les plus courants (COUPLAN, 2009).

SCHUPHAN (1955) cité par NAFIR (1995), a constaté qu'à côté de ses qualités gustatives se caractérise de plus par la haute valeur biologique de protéines qui donnent un index essentiel de 68, considéré comme le plus élevé parmi les légumes-feuilles.

Les feuilles de l'épinard, très riches en cellulose, constituent un aliment efficace contre la constipation. En outre, compte-tenu de leur richesse en fer, en iode et en vitamines A, B, C et D, ces feuilles sont recommandées en cas d'anémie et possèdent des propriétés activatrices de la sécrétion pancréatique, antirachitiques, hyperglycémiantes et hypotensives (BOULLARD, 2001). Il peut être utilisé comme reminéralisant, anti-scorbutique, tonocardiaque, anti-cancer « balai » des voies digestives.

Selon BOULLARD (2001), COUPLAN (2009) et LACOSTE (2014), Les feuilles regorgent de minéraux et d'oligoéléments : les teneurs en potassium (529 mg/100 g) ; en calcium (104 mg/100 g) et en magnésium (58 mg/100 g) sont impressionnantes, et celles en fer sont loin d'être négligeables, en plus de : P, K, Na, Cl, S, Mn, Zn, Cu, I.

L'épinard contient aussi beaucoup de vitamines: A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>12</sub>, C, E, K et PP. L'épinard est fragile et perd rapidement ses vitamines. Il faut choisir des feuilles sombres, tendres et charnues et éviter les feuilles jaunes, flétries ou trop humides

ABRAHAM (1991) considère que l'épinard est représentatif des aliments qui contribuent pour une part notable à l'apport en acide folique. L'épinard contient aussi de la chlorophylle, du carotène, des flavonoïdes et bien d'autres antioxydants comme la lutéine et la zéaxanthine. Avec ces composants réunis en un tel cocktail, l'épinard se comporte comme un véritable médicament naturel (LACOSTE, 2014).

Parfois, la teneur en acide oxalique de l'épinard le fait contre-indiquer chez certains malades exigeant un régime alimentaire particulier (personnes atteintes d'arthrites, de calculs hépatiques (BOULLARD, 2001).

## **7. Conservation**

Une fois récolté, l'épinard doit atteindre le marché très rapidement pour être consommé comme légume frais dans les 2-3 jours.

La conservation en atmosphère contrôlée, avec 10 % de CO<sub>2</sub>, permet de prévenir le jaunissement pendant une durée qui peut aller jusqu'à 3 semaines à une température de 5°C (MUNRO et SMALL, 1998).

Les techniques de conservation par la chaleur concernent la déshydrations, l'appertisation et la cuisson sous vide.

LANE *et al.* (1986) ont montré que la congélation des épinards à -18°C pendant 6 mois n'a pas modifié de manière significative la teneur en fer, zinc et carotène. Mais la rétention de la vitamine C était inférieure à celle des autres nutriments étudiés.

Etant donné la fragilité de l'acide folique, la congélation est le meilleur mode de conservation. Si le seuil de température de -18°C à -20°C est franchi rapidement, les folates ne sont pas plus altérés que les autres vitamines (ABRAHAM, 1991).

Si la congélation apparaît comme le mode idéal de conservation, il ne faut toutefois pas en conclure que les produits surgelés contiennent encore l'intégralité des vitamines présentes initialement, car ils ont préalablement subi un blanchiment (NAFIR, 1995).

**2<sup>ème</sup> PARTIE**

**MATERIEL ET METHODES**

## 2<sup>ème</sup> PARTIE : *MATERIEL ET METHODES*

### 1. Caractérisation des matières premières

#### 1.1. Matières premières

- **La semoule** : nous avons utilisé dans notre étude la semoule supérieure produite par le complexe GRANDS MOULINS DU SUD AMOR BENAMOR (Guelma) et emballée dans des sacs en fibres synthétiques de 25 kg et conservé à température ambiante dans un endroit sec. L'ensemble des essais relatifs aux pâtes ont été réalisés avec le même lot de semoule.
- **L'eau** : L'eau utilisée pour la fabrication des pâtes alimentaires est une eau distillée de  $\text{pH} = 5.8 \pm 0.4$ .
- **Le sel** : nous avons utilisé le sel extra fin (sel de table) iodé produit par l'Entreprise Nationale Algérienne du Sel (E.N.A.Sel), conditionné en sachet de 1Kg et commercialisé pour les usages culinaires.
- **L'épinard** : Les épinards utilisés ont été achetés sous formes de bottes. Après leur achat, les bottes ont été directement acheminées au laboratoire où nous avons pesé chacune. Puis nous avons éliminé des feuilles fanées, abîmées, tachées de noir ou de jaune. Après avoir équeuté, rincé et égoutté les feuilles des épinards, nous avons replié la base des feuilles en deux et, avec un couteau, nous avons tiré délicatement la nervure centrale.

#### 1.2. Caractérisation biochimique de la semoule

Afin de caractériser la matière première et les pâtes fabriquées, ces analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'UAB (unité de fabrication d'aliment de bétail), Ouled Hamla, Wilaya d'Oum El- Bouaghi.

##### 1.2.1. Teneur en eau (taux d'humidité)

La teneur en eau est la perte de masse exprimée en pourcentage subie par le produit dans les conditions de la présente norme (AFNOR, 1991).

La détermination de la teneur en eau est réalisée selon la méthode décrite par la norme AFNOR (N.F. V03-707,1991 a) à pression atmosphérique et à une température de 130 -133°C jusqu'à masse constante.

La teneur en eau (H), en pourcentage, est donnée par la formule suivante :

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

Où : H : teneur en eau en pourcentage.

$m_0$  : la masse en gramme de la boîte vide et de son couvercle ;

$m_1$  : la masse en gramme de la boîte, de son couvercle et de la prise d'essai avant déshydratation ;

$m_2$  : la masse en gramme de la boîte, de son couvercle et de la prise d'essai après déshydratation (étuvage).

### 1.2.2. Teneur en cendres

Les cendres constituent le résidu obtenu après incinération de 3g de produit à 900 °C dans les conditions décrites par la norme (NF V 03-720 de décembre 1981 ; AFNOR, 1991b) pendant 3 heures dans un four à moufle jusqu'à combustion complète de la matière organique et apparition d'un résidu ayant un poids constant.

Le taux de cendres "C" exprimé pour 100 g de produit sec est calculé par la relation suivante :

$$C = M_1 \times \frac{100}{M_0} \times \frac{100}{100 - H}$$

Où : C : teneur en cendres en % ;

$M_1$  : masse de résidu après incinération en g ;

$M_0$  : masse de la prise d'essai en g (3 g) ;

H : teneur en eau de l'échantillon en %.

### 1.2.3. Teneur en protéines (dosage de l'azote totale)

La détermination de la teneur en protéines est basée sur le dosage de l'azote total selon la méthode de KJELDAHL décrite par la norme AFNOR V03.050 (AFNOR, 1991).

La méthode repose sur une minéralisation des matières organiques par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, une alcalinisation des produits de la réaction, distillation et titrage de l'ammoniac.

Le coefficient de conversion de l'azote N en protéines P est de  $K=5.7$  pour la semoule (BAR, 1995 ; FAO, 1996 ; GODON et LOISEL, 1997 ; AOAC, 2011).

La teneur en azote, exprimée en gramme pour 100 g de matière sèche, est donnée par la formule suivante :

$$N = \frac{(V_1 - V_2) \times T \times 0,014}{M} \times 100$$

Où :  $V_1$  : volume en ml de solution d'acide sulfurique utilisé pour le titrage ;

$V_2$  : volume en ml de solution d'acide sulfurique utilisé pour l'essai à blanc ;

T : la normalité de l'acide sulfurique (0.1N) ;

M : la masse en gramme de la prise d'essai.

La teneur en protéines P est donnée par la formule suivante :

$$P = N \times K$$

### 1.2.4. Teneur en lipides libres

Il faut noter que cette extraction n'est pas totale lorsque des lipides sont retenus mécaniquement (parois cellulaires) ou liés chimiquement à d'autres composés (protéines).

La teneur en lipides libres est déterminée grâce à un extracteur SOXTEC. Il s'agit d'extraire les lipides libres d'une prise d'essai de 3 grammes par un solvant organique.

Le taux des lipides libres **L** est exprimé en pourcentage en masse du produit, selon la formule suivante :

$$L = \frac{m_3 - m_2}{m_1} \times 100$$

Où :  $m_1$  : masse en gramme de la prise d'essai.

$m_2$  : masse de nacelle avant extraction

$m_3$  : masse de nacelle après extraction

### **1.3. Caractérisation technologiques de la semoule**

#### **1.3.1. Granulométrie de la semoule**

Le tamisage est la méthode la plus fréquente, la plus simple et la moins coûteuse. Cet essai permet la caractérisation de la semoule en exprimant selon leur grosseur la répartition des particules qui les composent dans des proportions déterminées.

Des échantillons de 100 g de semoule sont déposés au sommet d'un plansichter de laboratoire type ROHTEX pendant 10 min. Le tamisage de la semoule est réalisé par des tamis dont les ouvertures des mailles sont de 500  $\mu\text{m}$ , 355  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$ . Les retenues (refus) sur chacun des tamis sont ensuite pesées.

Les résultats de cette opération correspondent à la moyenne de trois répétitions.

#### **1.3.2. Teneur en gluten humide, gluten sec et coefficient d'hydratation**

Selon KIGER et KIGER (1967), le dosage de gluten repose sur son insolubilité dans l'eau salée et son agglomération lors de son malaxage sous un courant d'eau. Le principe consiste à peser le gluten extrait d'une pâte préparée de 25g de semoule.

Le gluten sec est obtenu par une dessiccation de gluten humide à 102°C jusqu'à masse constante (pendant environ 18 heures).

- La teneur en gluten humide (GH) s'exprime en pourcentage par la formule suivante :

$$GH = \frac{m_h}{25} \times 100$$

- La teneur en gluten sec (GS) s'exprime en pourcentage par :

$$GS = \frac{m_s}{25} \times 100$$

Où :  $m_h$  : masse du gluten humide.

$m_s$  : masse du gluten sec.

- Selon KIGER et KIGER (1967), le coefficient d'hydratation (CH) du gluten est donné par la formule :

$$CH = \frac{GH - GS}{GH} \times 100$$

### 1.3.3. Extensibilité du gluten

L'extensibilité du gluten est déterminée selon la méthode de KOSMINA et KRANZ, cité par NAMOUNE 1989, ce qui permet de classer le gluten en 5 catégories.

#### ➤ Mode opératoire

- Remplir une éprouvette graduée de 100 ml avec une solution salée à 2%.
- Préparer une boulette de gluten de 2g et la charger d'un poids de 4g et l'attacher à un support en haut de l'éprouvette.
- Placer du papier millimétré sur la longueur de l'éprouvette de manière à lire l'allongement du gluten sur le papier.
- Laisser la charge agir pendant 2 heures.

Sous l'effet de la charge, le gluten s'allonge en fonction de ses qualités.

L'extensibilité est exprimée en "cm" par rapport au point initial.

- Gluten très bon : garde sa longueur après 2 heures.
- Gluten bon : s'allonge jusqu' à 1.5 cm après 2 heures.
- Gluten doux : s'allonge vite (plus de 1.5 cm).
- Gluten faible : s'allonge considérablement et casse avant la fin de l'essai.
- Gluten court : s'allonge légèrement mais casse vite.

#### 1.3.4. Ramollissement du gluten

Le ramollissement du gluten est déterminé selon la méthode de KRAUZERS *et al.* (1966) cité par CHERIET (2000).

##### ➤ Mode opératoire

- A partir du gluten humide extrait, peser 5 g et former une boulette.
- Déposer la boulette sur une plaque de verre munie d'un papier millimétré sur la face inférieure.
- Noter le diamètre de la boulette dans les deux directions perpendiculaires et calculer la moyenne.
- Recouvrir la boulette à l'aide d'un bécher muni d'un papier buvard imbibé d'eau afin de maintenir le milieu humide.
- Après 60 minutes, mesurer de nouveau le diamètre moyen en procédant de la même manière que précédemment.
- la différence entre les deux diamètres moyens (initial et final) donne le ramollissement du gluten.

Selon la méthode, on distingue quatre types de gluten :

- Ramollissement < 2 mm : gluten ferme, tenace ;
- Ramollissement de 2 à 4 mm : gluten de bonne qualité ;
- Ramollissement de 4 à 8 mm : gluten de qualité moyenne ;
- Ramollissement de 8 à 13 mm : gluten de mauvaise qualité.

## 1.4. Caractérisation des épinards utilisés

### 1.4.1. Pourcentage de matière comestible (rendement)

La détermination de la quantité la partie comestible se fait par élimination des déchets (parties flétries et corps étrangers) et de la partie jugée non comestible.

Le rendement est exprimé en pourcentage du produit brut (le rapport de la masse de la partie comestible PC sur la masse tel qu'acheté TA).

Pour l'épinard les parties comestibles sont les feuilles seules.

$$\text{Rendement} = \frac{PC}{TA} \times 100$$

### 1.4.2. Humidité

la connaissance de la teneur en eau des produits alimentaires est capitale car elle permet de rapporter les résultats des analyses à une base fixe (matière sèche ou teneur en eau standard). elle est déterminée par différence de masse avant et après dessiccation à l'étuve à + 103°C jusqu'à obtention d'une masse constante (MULTON *et al.*, 1981).

### 1.4.3. Taux de cendres

Les échantillons ainsi séchés sont mélangés puis broyés. La poudre obtenue a été conservée dans des sachets en plastiques bien fermés.

Les cendres sont obtenus après incinération des prises d'essai à 500°C jusqu'à l'obtention d'une poudre blanchâtre selon la norme AFNOR NF V 05-104 (AFNOR, 1986).

Le pourcentage des cendres est calculé par différence de masse avant et après calcination (élimination de la matière organique).

### 1.4.4. Teneur en protéines (dosage des protéines totales)

La teneur en protéines a été déterminée par la méthode de KJELDAHL. C'est la méthode officielle de référence qui permet de doser l'azote (AFNOR, 1986).

La teneur en azote par la formule citée en paragraphe 1.2.3 où M est la masse en gramme de la prise d'essai. Dans ce cas, la teneur en protéines P est calculée à partir du taux d'azote N en utilisant le coefficient de conversion 6,25 (GODON et LOISEL, 1991).

## 2. La pastification (Fabrication de *Mkartfa*)

La fabrication est réalisée dans les conditions habituelles avec le même matériel employé pour la production des pâtes alimentaires traditionnelles type *Mkartfa*. Nous avons réalisé des fabrications de *Mkartfa* au niveau domestique et au niveau de laboratoire de l'UAB (unité de fabrication d'aliment de bétail) Ouled Hamla Wilaya d'Oum El- Bouaghi

Pour la pâte témoin, nous avons utilisé 500 g de semoule de blé dur, 10 g de sel et la quantité d'eau distillée nécessaire à l'hydratation. Les autres formules sont basées sur l'incorporation de quantités variables en épinard frais broyé à la semoule de blé dur ce qui nous a amené à étudier plusieurs formulations. Les taux d'incorporation sont exprimés en g de matière sèche d'épinard frais pour 100 g du mélange (semoule + épinard). Au total, nous avons réalisé 09 mélanges et trois essais pour chacun.

Les mélanges semoule-épinard sont étudiés en comparaison avec la semoule de blé dur (témoin) et les pâtes obtenues seront comparées aux pâtes témoins de blé dur fabriquées dans les mêmes conditions.

Les paramètres les plus importants qui méritent d'être étudiés sont la faisabilité et l'acceptation des produits fabriqués par les consommateurs. En effet, l'ajout d'épinard à la formule de départ (semoule de blé dur) permettrait son enrichissement en éléments nutritifs en espérant obtenir un produit de meilleures propriétés technologiques et pastifiables.

Trois fabrications (essais) ont été réalisées pour le témoin (blé dur) ainsi que pour chaque formule proposée.

Le temps et les nombres de pétrissage ainsi que la durée de repos ont été déterminés à partir d'essais préliminaires.

Les matières premières ont été pesées à l'aide d'une balance technique de marque SARTORIUS basic type BA610 d'une portée de 600 g avec une précision de lecture de  $10^{-2}$ .

## 2.1. Ustensiles utilisés

Les principaux ustensiles utilisés sont : (représentés dans la figure 02)

- Le tamis ou "SYAR " qui sert à retenir certaines impuretés probables.
- La *guessâa* : c'est un récipient en bois d'un diamètre de près de 60 cm, et d'une profondeur de 9 cm. Elle est utilisée couramment pour le pétrissage des pâtes boulangères ou pastières traditionnelles (*chekhchoukha, trida, etc*). Dans le cas de notre essai, la *guessâa* a été utilisée au cours de la phase d'hydratation au début de malaxage.
- "Mayda" ou une table basse en bois.
- "Hellal" ou rouleau à pâtisserie : utilisé pour faciliter le laminage.
- Machine à pâte : C'est un laminoir ménager de marque "MARCATO ampia 150". Elle comporte différentes parties. Partie laminage avec des rouleaux de passage numéroté de 1 à 9, partie de découpage en différentes formes.
- Couteau : il est utilisé pour la découpe des pâtes pendant le laminage et pour la découpe des pâtes à la sortie.
- Chronomètre : il est utilisé pour la détermination du temps de pétrissage, de cuisson,...
- Appareil photo.

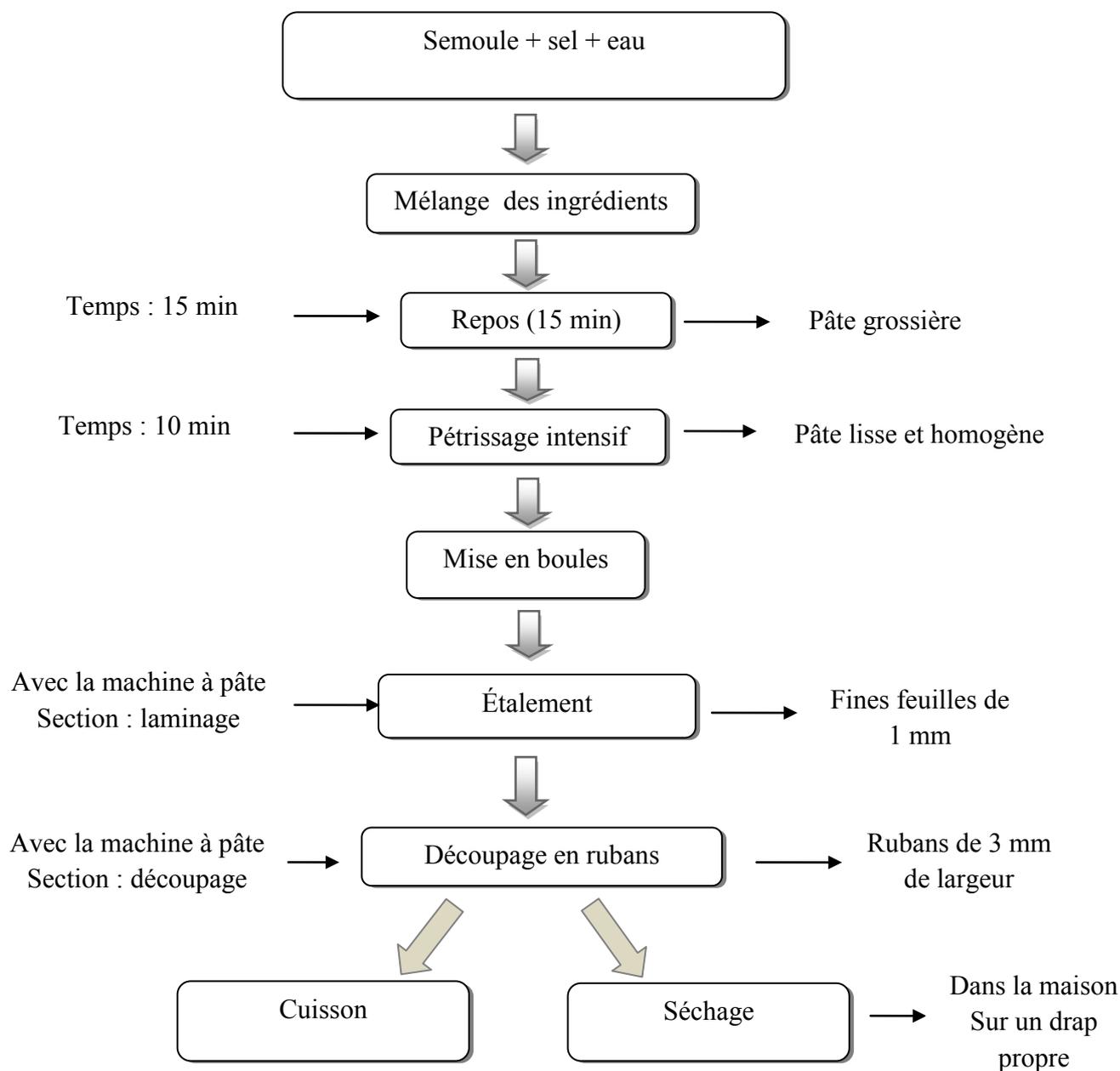


**Figure 02.** Les principaux ustensiles utilisés pour la Fabrication de *Mkartfa*

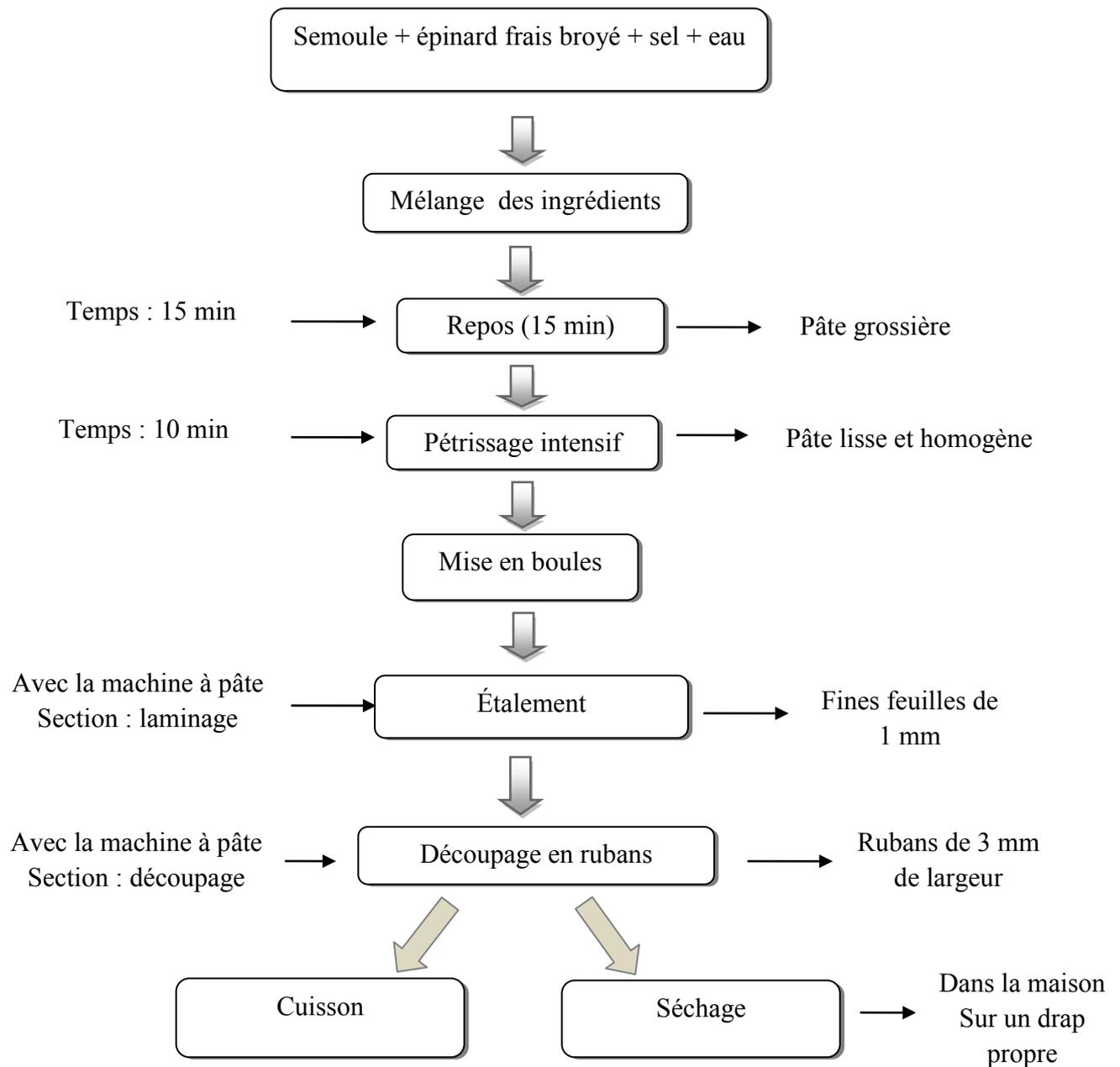
## 2.2. Diagramme de fabrication de *Mkartfa* avant et après incorporation d'épinard

Les principales étapes de fabrication de *Mkartfa* sont présentées dans la figure 03.A.

Les étapes de fabrication de *Mkartfa* aux épinards sont présentées dans la figure 03.B.



**Figure 03.A.** Diagramme de fabrication de '*Mkartfa*' sans épinard



**Figure 03.B.** Diagramme de fabrication de 'Mkartfa' aux épinards

### 2.2.1. Hydratation/malaxage

Après un tamisage de (500 g) de semoule dans une *guessâa*, on ajoute 10g de sel puis on hydrate manuellement et progressivement avec une eau distillée et tiède jusqu'à obtention d'une pâte grossière.



**Figure 04.** Hydratation et malaxage des ingrédients

### 2.2.2. Repos

La pâte est laissée au repos pendant 15 minutes. Ce repos permet aux constituants de la pâte une hydratation homogène, ce qui rend au final les pâtes faciles à travailler lors de la phase d'étalement et de découpe.

### 2.2.3. Pétrissage

La durée de pétrissage est un facteur déterminant de la cohésion de la pâte.

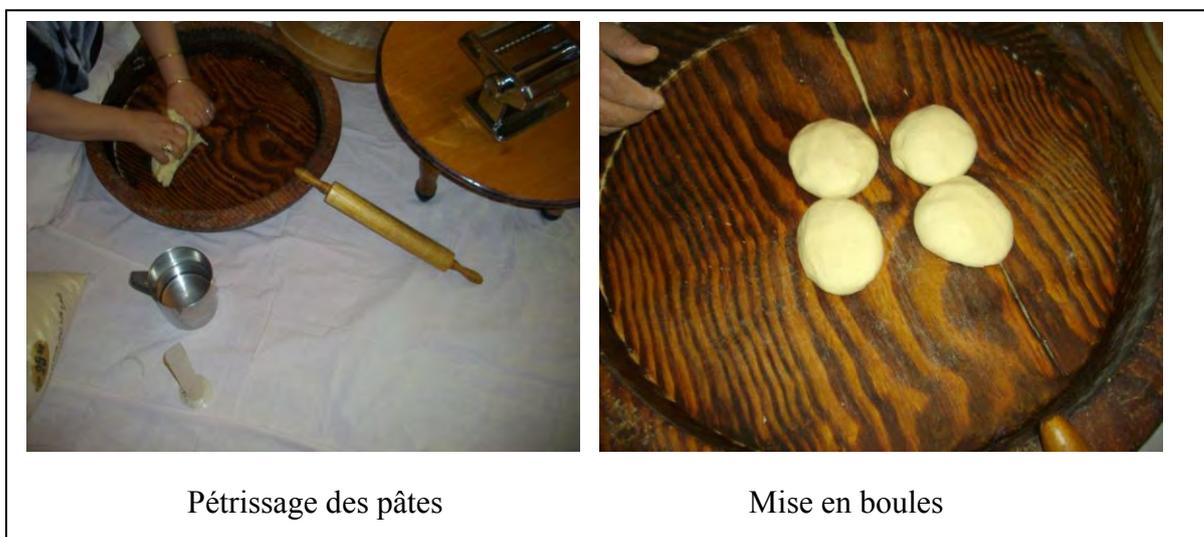
Après la phase de repos, nous avons procédé à un pétrissage pendant : 5, 10, 15 et 20 minutes. Le pétrissage est effectué manuellement pour avoir un homogénéité plus importante.

- Le temps de pétrissage de 5 min a donné une pâte ni cohérente ni homogène. Elle est donc mal pétrie.
- Le temps de pétrissage de 15 et 20 min ont provoqué un ramollissement de la pâte qui devient collante, ils correspondent donc à un pétrissage excessif.

Ainsi l'optimum de temps de pétrissage retenu est 10 min qui a donné une pâte cohérente, non collante et d'une bonne malléabilité.

La même durée de pétrissage est appliquée pour toutes les pâtes à différent taux d'incorporation.

La pâte ensuite est divisée en petite boules (Figure 05) et recouverte avec un film en plastique pour empêcher le dessèchement des pâtons.

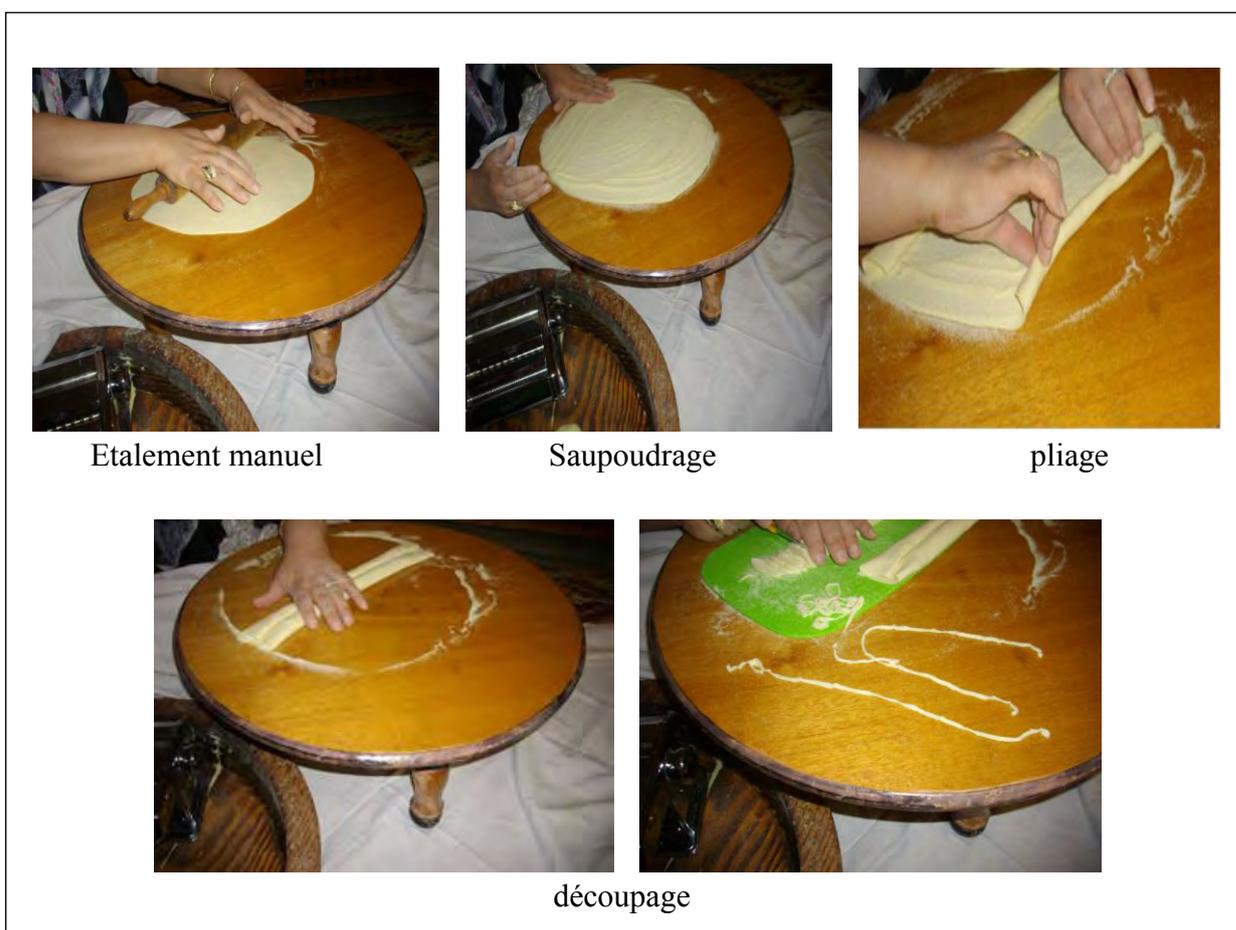


**Figure 05. Pétrissage des pâtes**

### 2.2.4. Mise en forme

Par la méthode traditionnelle, chaque boule est étalée sur la "Mayda" à l'aide d'un rouleau à pâtisserie jusqu'à l'obtention d'une feuille fine (1mm) plus ou moins circulaire, lisse et non collante. La pâte étalée est bien saupoudrée de semoule fine pour éviter qu'elle se colle au rouleau, à la "Mayda" ou à elle-même pendant le découpage.

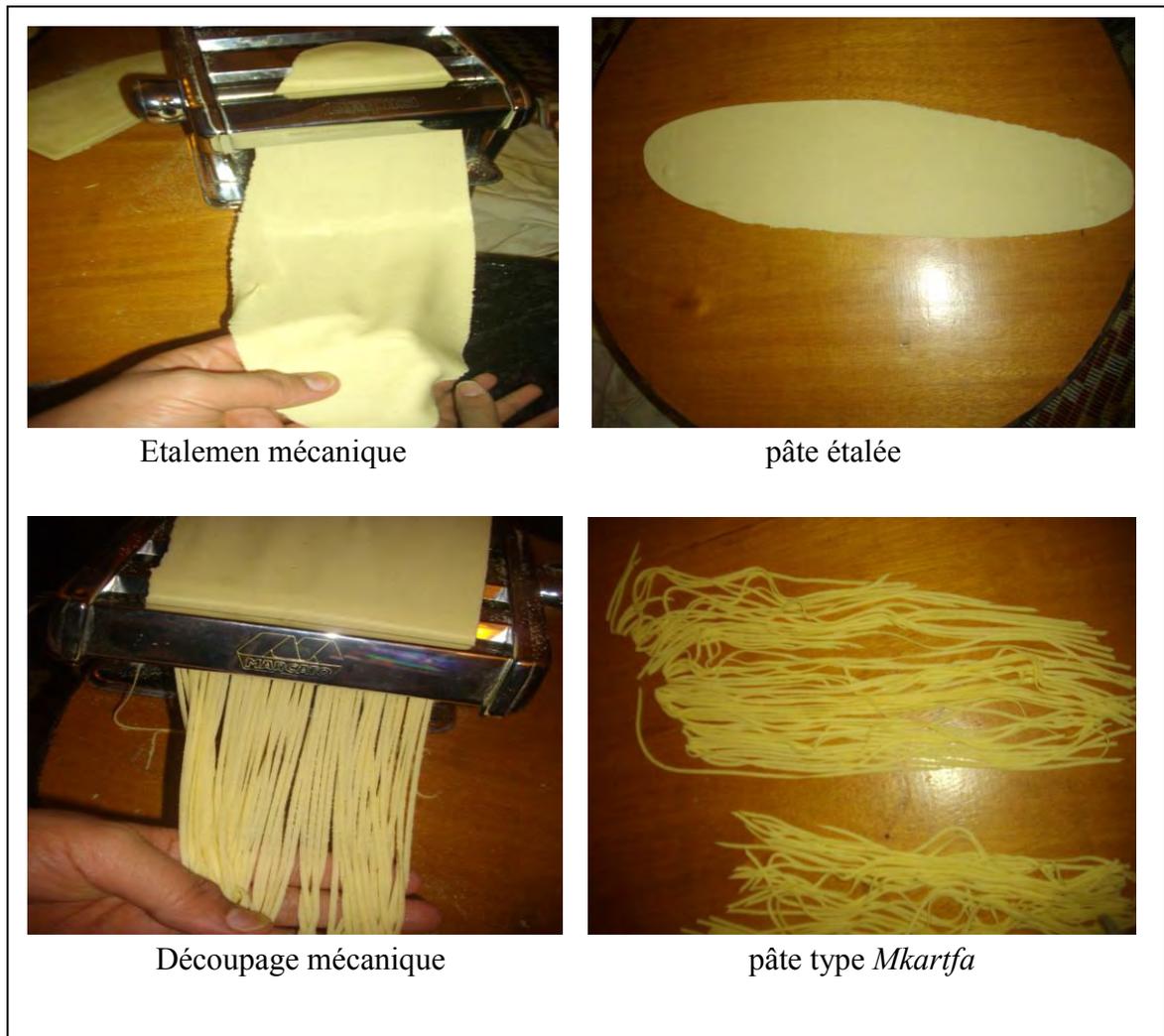
Pour obtenir la forme finale souhaitée, la pâte étalée est roulée des deux coté vers le centre puis découpée à l'aide d'un couteau en rondettes (Figure 06). Ces dernière s'ouvrent et donnent des brins qui sont dispersés sur une surface afin d'éviter leur entassement. Avant la cuisson de *Mkartfa*, il est nécessaire de procéder à un tamisage pour éliminer le surplus de saupoudrage.



**Figure 06.** Mise en forme des pâtes par la méthode traditionnelle

L'étalement et le découpage mécanique se pratiquent de plus en plus ces dernières années.

Les boulettes sont laminées en fines feuilles sans saupoudrage, à l'aide d'un laminoir destiné à la fabrication des pâtes traditionnelles type MARCATO (Figure 07). Ces feuilles sont ensuite découpées en rubans avec l'emporte-pièce attaché au laminoir (section découpage à 3mm de largeur).



**Figure 07.** Mise en forme des pâtes par la méthode mécanique

*Mkartfa* est une pâte fraîche. Sa cuisson est simple mais demande un peu d'attention pour éviter qu'elle colle.

*Mkartfa* est cuite dans beaucoup de sauce bouillante, quelques minutes, les brins de pâte doivent "nager". Il faut échantillonner la cuisson sans cesse et vérifier la bonne cuisson : dès que les brins de *Mkartfa* remontent à la surface, ils sont légèrement fermes sous la dent.

Après découpage, *Mkartfa* peut être séchée pour être stockée et conservée pour une utilisation ultérieure. Les pâtes obtenues sont étalées en couche sur un drap et laissées à la température ambiante ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ) pendant 24 heures dans une pièce aérée. Les échantillons sont ensuite stockés dans des sacs en plastiques à l'abri de l'humidité.

### **3. Analyses physico chimiques et propriétés technologiques des pâtes obtenues**

Notre étude consiste à caractériser les pâtes alimentaires type *Mkartfa* de point de vu chimique, physique et organoleptique.

Les échantillons des pâtes sont broyés afin de faciliter les différentes analyses physico chimiques. Ces analyses concernent les pâtes avant et après incorporation d'épinard.

Nous avons réalisé 3 essais pour toutes les analyses physico-chimiques.

#### **3.1. Teneur en eau (taux d'humidité)**

La détermination de la teneur en eau est réalisée selon la méthode décrite par la norme AFNOR (N.F. V03-707,1991a) (paragraphe 1.2.1).

#### **3.2. Teneur en cendres (taux de cendres)**

Les cendres constituent le résidu obtenu après incinération à  $900^\circ\text{C}$  dans les conditions décrites par la norme (AFNOR NF.V03-720, 1991b) pendant  $3^{\text{h}}$  dans un four à moufle (paragraphe 1.2.2).

#### **3.3. Teneur en protéines (dosage de l'azote totale)**

La détermination de la teneur en protéines est basée sur le dosage de l'azote selon la méthode de KJELDAHL décrite par la norme AFNOR V03.050 (AFNOR, 1991) (Paragraphe 1.2.3).

### 3.4. Dimensions de *Mkartfa*

Le découpage est effectué dans la section découpage de la machine à pâte où est fixée à 3mm.

La longueur (L), la largeur (l) et l'épaisseur (e) de *Mkartfa* obtenue sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse, avant et après séchage.

### 3.5. Masse volumique *Mkartfa*

La masse volumique est le rapport d'une masse sur son volume ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

La méthode utilisée pour la détermination du volume des pâtes est celle décrite par OTHMANI MARABOT (2006) comme suit :

- à l'aide d'une balance, on pèse 100g de pâte qu'on verse directement dans une éprouvette graduée de 1 litre sans agitation pour éviter l'entassement du produit.
- la détermination de volume est faite par lecture directe sur l'éprouvette.
- la masse volumique est donnée par le rapport de la masse, en gramme, sur le volume, en millilitre.
- les résultats sont la moyenne de trois essais.

## 4. Caractérisation des pâtes obtenues avant et après incorporation d'épinard

Les propriétés qui définissent la qualité des pâtes alimentaires sont déterminées à travers leur aspect à l'état cru, leur comportement durant et après la cuisson, leur valeur nutritionnelle et leur état hygiénique (AUTRAN *et al.*, 1986 ; NASEHI *et al.*, 2011).

### 4.1. Description des pâtes crues

L'aspect des pâtes est déterminé par une appréciation visuelle à travers les facteurs suivants :

- Texture superficielle (état de surface) et coloration ;
- Gerçures ;
- Piqûres.

## 4.2 Qualité culinaire

La qualité culinaire des pâtes alimentaires intègre l'ensemble des caractéristiques suivantes :

- le temps de cuisson ;
- la texture des produits cuits qui rend compte de la fermeté et de la masticabilité des pâtes après cuisson (MARCHYLO *et al.*, 2004 ; ABECASSIS, 2011) ;
- l'état de surface ou de désintégration des produits cuits qui dépend du degré d'adhésion des brins (notion de collant) et aussi de l'aspect plus ou moins lisse des produits cuits (notion de délitescence) (SUNG *et al.*, 2003 ; ABECASSIS, 2011) ;
- l'absorption d'eau ;
- les pertes à la cuisson ;
- l'arôme, le goût et la couleur (FEILLET, 2000).

La qualité culinaire des pâtes fabriquées dans notre étude a été appréciée par la détermination du Temps Optimum de Cuisson (TOC), le Degré de Délitescence (DD), l'indice de gonflement et l'analyse sensorielle des différentes pâtes.

### 4.2.1. Temps optimal de cuisson

Le temps de cuisson est un facteur très important pour définir la qualité culinaire des pâtes alimentaires.

Le temps minimal, optimal et maximal de cuisson qui correspond respectivement à la durée à partir duquel l'amidon est gélatinisé, au temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée et au temps au-delà duquel les produits se désintègre dans l'eau de cuisson (FRANK *et al.*, 2002 ; ABECASSIS, 2011).

La cuisson des pâtes est réalisée selon un protocole modifié (ABECASSIS *et al.*, 1994 ; FRANK *et al.*, 2002 ; PETITO *et al.*, 2009c ; méthode 16-50- AACC 1990 in NASEHI *et al.*, 2009). Un échantillon de 100 g de pâtes (pâte témoin et pâte aux épinards) découpées en brins de 20 cm de long environ est plongé dans 3 litres d'eau distillée bouillie contenant 7 g/ litre de sel. À des intervalles de temps réguliers soit toutes les 30 secondes, un brin est prélevé pour évaluer la cuisson des pâtes.

- Le temps optimal de cuisson est le temps à partir duquel la pâte devient collante.
- Le temps de surcuisson est obtenu par addition de 6 min au temps optimum nécessaire à la cuisson des spaghettis (ABECASSIS *et al.*, 1994).

#### 4.2.2. Le gonflement (Poids à la cuisson)

Le gonflement renseigne sur la capacité d'absorption d'eau des pâtes cuites.

Il est déterminé après égouttage des pâtes mises à cuire. C'est la différence entre le poids des pâtes cuites et le poids d'un échantillon cru mis à cuire, on l'exprime en g d'eau absorbée par 100 g de pâte crue (ALARY *et al.* (1979) cité par NAMOUNE (1981)).

La procédure de préparation des échantillons pour la détermination de l'indice de gonflement est la même décrite dans la section de détermination du temps optimum de cuisson en paragraphe 4.2.1. Ces échantillons sont ensuite drainés et égouttés à travers un passoir pendant 5 min (ABECASSIS *et al.*, 1994 ; FRANK *et al.*, 2002 ; PURNIMA *et al.*, 2011).

L'indice de gonflement (IG) est déterminé par la pesée des pâtes égouttées et calculé selon l'équation (PETITOT *et al.*, 2010) :

$$\text{IG (\% ms)} = \frac{\text{Masse pâtes cuites (TOC+ 1min)} - \text{Masse pâtes sèches}}{\text{Masse pâtes sèches}} \times 100$$

#### 4.2.3. Degré de délitescence (Pertes à la cuisson)

La délitescence représente un critère fondamental de la qualité culinaire des pâtes cuites. Ce paramètre est déterminé suivant la méthode AACC (méthode 16-50-AACC 1990) in NASEHI *et al.* (2009) ; ABECASSIS *et al.* (1994).

La procédure de préparation des échantillons pour la détermination de l'indice de gonflement est la même décrite dans la section de détermination du temps optimum de cuisson en paragraphe 4.2.1. Ensuite, les échantillons sont égouttés à travers un passoir pendant 5 min. L'eau de cuisson (25 ml) est séchée dans une étuve à ventilation d'air réglée à 102°C pendant 15h.

Le degré de délitescence est ensuite calculé suivant la formule suivante (ABECASSIS *et al.*, 1994) :

$$DD = (DM - 0.175) \times V_f / 25 \times (100 - W)$$

Où : DM : masse de résidu en g ;

$V_f$  : volume final de l'eau de cuisson (ml) ;

W : humidité des pâtes non cuites (%) :

DD est donc exprimé en gramme de DM (matière sèche) pour 100 g de DM des pâtes non cuites.

## 5. Analyses sensorielles

L'évaluation sensorielle de *Mkartfa*, avant et après incorporation d'épinard, est faite par des observations visuelles et des dégustations. Nous avons réalisé un test hédonique (test de dégustation) et un test de classement. Ces tests sont réalisés sur des pâtes cuites.

Le panel est constitué de 10 sujets de sexes masculins et féminins. Notre jury a été composé des techniciens de laboratoire et des ingénieurs, considérés comme consommateurs habituels des pâtes alimentaires, sont aptes à juger ces produits. Ils sont recrutés selon leur motivation et leur disponibilité pour participer au test.

Nous avons évité de discuter de l'aliment qui sera soumis aux essais en expliquant la méthode et les protocoles d'analyses utilisées pour réduire la confusion et rendre la tâche plus facile aux dégustateurs. Ils doivent être bien informés préalablement des procédures employées de la manière de remplir les cartes de notation pour qu'ils puissent participer aux essais sur la même base. Il est recommandé aux dégustateurs d'éviter l'utilisation de produits dont l'odeur est prononcée comme par exemple le savon, la lotion et le parfum avant de participer. Les sujets doivent éviter également de manger, de boire ou de fumer au moins 30 minutes avant l'entame du test (avant de procéder aux essais).

Les pâtes fabriquées et testées sont préalablement découpées en brins de 10 cm de longueur avant chaque analyse.

## 5.1. Test hédonique

Selon D'EGIDIO et coll. (1993), le jugement sensoriel qui évalue, en même temps, les caractéristiques de surface (tel que le collant) et la fermeté, peut être considéré comme le plus important pour l'évaluation de la qualité culinaire des pâtes.

Nous avons opté pour un test de notation selon la norme AFNOR V09-014 d'avril 1982 (AFNOR, 1995).

Dans cette étude, nous avons suivi une démarche de réalisation des profils sensoriels et nous nous sommes intéressés à l'analyse réelle des échantillons cuits sur la base de la liste des descripteurs. Une note sur une échelle de 1 à 9 est attribuée pour chaque caractéristique.

Les échantillons sont présentés à chaque juge séparément dans un ordre randomisé dont chaque assiette contenait environ 10 g de pâtes. Les critères de jugement des pâtes cuites portaient sur la couleur, l'odeur, le goût, la fermeté et le collant (Figure 08). Ce dernier est apprécié visuellement par la facilité d'émottage à l'aide d'une fourchette ainsi qu'en bouche (GUEZLANE *et* ABECASSIS, 1991).

<b>Bulletin de réponses pour épreuve de notation des pâtes</b>						
<b>Nom :</b>				<b>date :</b>		
<b>Prénom :</b>				<b>Age :</b>		
Donnez une note de 1 à 9 selon l'intensité de chaque critère suivant l'échelle :						
[1-3] moins intense / [1-3] moyennement intense / [1-3] très intense						
Caractère	Produit 1	Produit 2	Produit 3	Produit 4	Produit 5	
<b>Couleur</b>						
<b>Fermeté</b>						
<b>Collant</b>						
<b>Odeur</b>						
<b>Goût</b>						

**Figure 08.** Bulletin pour le test hédonique du *Mkartfa* avec un barème de notation allant de 1 à 9

L'échelle choisie est de 1 à 9, et l'intensité de chaque critère à noter est mentionnée dans un abaque présenté au jury afin d'éviter les confusions et uniformiser les notations.

## 5.2. Test de classement par rang

Ce test a pour objectif de déterminer la mesure dans laquelle le consommateur accepte un produit. L'acceptation d'un produit alimentaire indique en général la consommation réelle de ce produit (achat et consommation) (WATTS *et al.*, 1991). Le test de classement est une épreuve à choix forcé (BADOUD *et al.*, 2010).

On demande aux dégustateurs de classer par rang des échantillons codés en fonction de l'acceptation en allant du plus acceptable au moins acceptable (figure 09). En règle générale, on ne permet pas les égalités.

La figure 09, donne le bulletin à remplir pour le classement par rang de l'acceptation.

FICHE DE TEST DE CLASSEMENT	
NOM : .....	
PRENOM : .....	
	DATE : .....
-Veuillez classer les neuf échantillons par ordre de préférence.	
Code	Classement
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

**Figure 09.** Bulletin du test de classement par rang

Aux fins de l'analyse des données, on fait le total des classements attribués à chaque échantillon.

On procède ensuite à la détermination de la signification des différences en comparant les totaux des classements pour toutes les paires possibles des échantillons en se servant du test non paramétrique, le test de Friedman. Les différences entre toutes les paires possibles des classements totalisés sont comparées à la valeur critique du tableau donné dans la partie annexe, pour un niveau de signification de 5 %.

## **6. Analyse statistique**

Toutes les mesures sont effectuées en triple. La saisie et le traitement statistique des données ont été réalisés à l'aide du logiciel statistique XLSTAT (2009). Les résultats sont exprimés en tant que moyenne  $\pm$  écart-type. La comparaison entre plusieurs moyennes est effectuée par l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur.

L'ANOVA a été réalisée pour déterminer la signification, au seuil de 1% (noté \*\*) et au seuil de 5% (noté \*), des évolutions des paramètres physicochimiques pendant le procédé de fabrication et pour l'analyse des données du test Hédonique.

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode de réduction du nombre de caractères permettant des représentations géométriques des individus et des caractères dans un espace à 2 dimensions ainsi qu'une visualisation des composantes principales permettant d'identifier les groupes de caractères liés entre eux ou opposés.

**3<sup>ème</sup> PARTIE**

**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## 3<sup>ème</sup> PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### 1. Caractéristiques de la matière première

#### 1.1. Caractéristiques physico-chimiques de la semoule

Hormis l'humidité, les résultats sont exprimés en p. cent de la matière sèche pour nous permettre de faire des comparaisons objectives et d'éviter les biais apportés par les différences d'humidité.

Les teneurs moyennes d'humidité, des protéines et des cendres de la semoule utilisée pour la fabrication des pâtes alimentaires sont exprimées, en pourcentage, dans le tableau 04.

**Tableau 04.** Composition chimiques de la semoule

	<b>Moyenne ± E.T.</b>	<b>minimum</b>	<b>maximum</b>
<b>Humidité (%)</b>	13,91 ± 0,15	12,56	14,06
<b>Cendres (% ms)</b>	0,73 ± 0,23	0,69	0,91
<b>Protéines (% ms)</b>	12,20 ± 0,23	12,02	13,09
<b>Lipides libres (% ms)</b>	0,69 ± 0,54	0,62	0,78

E.T. : écart type

##### 1.1.1. Humidité

La détermination de la teneur en eau est réalisée afin de permettre par la suite une comparaison des résultats aux travaux antérieurs et aux normes.

Les résultats du tableau 04 montrent que l'humidité de la semoule utilisée est de l'ordre de 13,91%± 0,15. Ainsi le taux d'humidité de la semoule se situe dans l'intervalle rapporté par de nombreux auteurs variant entre 10 % (ms) (FEINBERG *et al.*, 1991) et 13.10 % (ms) (SOUCI *et al.*, 1994). Toutefois, cette teneur en eau est du même ordre que le maximum indiqué par le *Codex Alimentaire* 171- 1991 (GODON *et al.*, 1991 ; FAO, 1996).

La détermination de la teneur en eau permet de rapporter les résultats des analyses des différents constituants de toute nature à une base fixe (matière sèche).

En effet, selon KIGER et KIGER (1967), l'humidité est très variable, elle dépend à la fois de la saison et de la quantité d'eau ajoutée au blé avant mouture.

### 1.1.2. Cendres

La teneur en cendres est une caractéristique de la pureté de la semoule (CALVEL, 1984). Elle a un rôle important pour l'appréciation du taux d'extraction et des bilans de mouture (KIGER et KIGER, 1967).

Selon ABECASSIS (1993) et FARES et *al.* (1995), le taux des cendres reste le moyen officiel utilisé pour caractériser la pureté des semoules.

La détermination de ce paramètre offre la possibilité de connaître la teneur en matière minérale globale des céréales et de leurs sous-produits (GODON *et al.*, 1991).

Notons toutefois que la teneur en cendres d'une semoule augmente avec le taux d'extraction (SELSELET, 1991). D'après BAR (1995) et GODON *et al.*, (1997), le taux de cendres d'une semoule supérieure est de l'ordre maximum de 1.10%

Le tableau 04 montre que notre semoule avec un taux en cendres de l'ordre de  $0,73\% \pm 0,05$  peut être considérée comme une semoule supérieure.

### 1.1.3. Protéines

Le taux de protéines présente un double intérêt, l'un nutritionnel et l'autre technologique (CHERIET, 2000).

Elle varie en fonction de la variété, des conditions de culture et le stade de maturité des grains (SELSELET, 1991).

La détermination de la teneur en protéines indiquée dans le tableau 04 montre qu'elle est de l'ordre de  $12.20\% \pm 0.23$  ce qui est conforme aux valeurs données par SELSELET (1991).

### 1.1.4. Lipides libres

Les lipides jouent un rôle important au cours de la conservation de la semoule.

D'après BOUDREAU *et al.* (1992), la teneur en lipides de la semoule varie de 1,5 à 2%.

La teneur en lipides libre de la semoule utilisée dans la fabrication des pâtes est de l'ordre de  $0,69\% \pm 0,54$ . Elle n'est pas prise en considération car elle ne donne pas la teneur totale des lipides malgré qu'elle est proche de l'intervalle 0.79 à 3.8 % (ms) soulignée par FAVIER *et al.* (1995).

## 1.2. Caractéristiques technologiques de la semoule

### 1.2.1. Granulométrie de la semoule

La granulométrie d'une semoule permet de caractériser la répartition en taille et en nombre des particules dont elle est composée.

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

La granulométrie de la semoule utilisée pour la fabrication des pâtes alimentaires est indiquée dans le tableau 05.

**Tableau 05.** Granulométrie de la semoule utilisée dans la fabrication des pâtes alimentaires en pourcentage.

Fraction	Semoule de blé dur (%)
[355-500[ $\mu\text{m}$	$32,16 \pm 1,89$
[200-355[ $\mu\text{m}$	$55,6 \pm 0,78$
Passant 200 $\mu\text{m}$	$12,23 \pm 1,59$

De tableau 05, il ressort que la fraction granulométrique la plus importante se situe dans l'intervalle [200- 355[  $\mu\text{m}$  avec  $55,6 \pm 0,78\%$  pour la semoule de blé dur.

Selon la FAO (1995b), les semoules de blé dur utilisées dans la fabrication des pâtes alimentaires sont en général d'une granulométrie supérieure ou égale à 212  $\mu\text{m}$ .

ABECASSIS (1991) indique que c'est dans cette proportion que les fabricants souhaitent recevoir leurs produits de plus en plus fin ce qui permettrait d'augmenter le débit des presse, de réduire la durée de malaxage tout en produisant des produits plus homogènes, plus lisses, sans grosses piqûres apparentes ni points blancs, sans altération aucune ni pour la couleur ni pour la qualité culinaire.

### 1.2.2. Teneur en gluten humide et sec et caractéristiques rhéologiques

Le gluten extrait de la semoule a une couleur crème jaunâtre, mou et élastique.

Le taux de gluten humide et sec et les caractéristiques rhéologiques du gluten de la semoule sont regroupés dans le tableau 06.

**Tableau 06.** Teneur en gluten et ses caractéristiques rhéologiques

Caractéristiques	Teneurs
gluten humide (%)	33,62 $\pm$ 0,07
gluten sec (%)	10,87 $\pm$ 0,12
Capacité d'hydratation (%)	67,66 $\pm$ 0,24
Extensibilité (cm)	0,35 $\pm$ 0,05
Ramollissement (mm)	1,2 $\pm$ 0,5

#### 1.2.2.1. Gluten humide

La teneur en gluten humide de la semoule utilisée est de 33,62  $\pm$  0,07. Cette teneur est comparable à celle exigée par GODON (1991). Donc on peut dire que la semoule est de bonne qualité.

### 1.2.2.2. Gluten sec

Le tableau 06 indique que la teneur en gluten sec est de l'ordre de  $10,87\% \pm 0,12$ . Ces résultats sont proches de celles décrits par KIGER et KIGER (1967) qui sont de l'ordre de 11% au minimum pour le blé dur.

D'après BOUDREAU *et al.*, (1992), la teneur en gluten représente 85% des protéines. Ceci est évident du fait qu'il existe une corrélation positive entre le taux de gluten sec et la teneur en protéines.

### 1.2.2.3. Capacité d'hydratation

La capacité d'hydratation de la semoule varie en fonction de la qualité du blé en particulier de son état de maturité.

D'après les résultats représentés dans le tableau 06, la capacité d'hydratation est de l'ordre de  $67,66\% \pm 0,24$ . Selon KIGER et KIGER (1967), la capacité d'hydratation d'un gluten normal est de l'ordre de 66% et peut s'élever jusqu'à 69%.

### 1.2.3. Extensibilité

Selon les valeurs relatives à l'extensibilité indiquées dans le tableau 06 ( $0,35\% \pm 0,08$ ), on peut classer la semoule dans la catégorie des semoules à gluten de bonne qualité selon KOSMINA et KRANZ cités par NAMOUNE (1989).

### 1.2.2.5. Ramollissement

Le ramollissement du gluten de la semoule est de l'ordre de  $1,2 \pm 0,5$  mm

Selon les normes décrites par KRAUZERS *et al.* (1966) cités par CHERIET (2000), le gluten de la semoule se classe dans la catégorie de gluten tenace et ferme.

*La semoule utilisée nous a permis de fabriquer des pâtes alimentaires de bonne qualité.*

### 1.3. Caractéristiques des épinards utilisés

#### 1.3.1. Pourcentage des parties comestibles (rendement)

Les résultats de calcul du rendement de l'épinard sont mentionnés dans le tableau 07.

**Tableau 07.** Calcul du PT/TA de l'épinard

échantillons	TA (bottes) (g)	PC (Feuilles) (g)	Rendement %
<b>Moyenne ± ET</b>	826,81 ± 0,12	328,04 ± 0,03	39

PC : partie comestible, TA : tel qu'acheté

Selon le tableau 07, les bottes de l'épinard ont un rendement de 39 % ± 0,02 donc la quantité de déchets est plus importante quant seules les feuilles sont considérées comme partie comestible et presque les deux tiers de l'épinard sont jetés.

En fait, quel que soit l'aliment, la quantité de matière comestible est très variable. Elle dépend non seulement de l'aliment lui-même (fraicheur) mais aussi du type d'aliment, degré de maturité et de consommation, et notamment de leurs habitudes alimentaires et de leurs revenus (NAFIR, 1995).

#### 1.3.2. Caractéristiques chimiques des épinards utilisés

Hormis l'humidité, les teneurs moyennes des caractéristiques chimiques (cendres, protéines) des épinards utilisés sont présentées dans le tableau 08 en g pour 100g de matière sèche, ce qui nous permettra de faire la comparaison des résultats aux travaux antérieurs et aux normes.

La recherche de taux élevé de matière sèche est important car elle est corrélée positivement à la teneur des constituants des aliments, et en particulier aux minéraux et aux vitamines (NAFIR, 1995).

Les feuilles crues d'épinard sont caractérisées globalement par une forte teneur en eau 89,71 ± 0,93%. Ce qui influence leurs taux de matière sèche (10,29g/100g de m<sub>s</sub>).

**Tableau 08.** Résultat des analyses chimiques de l'épinard

	Teneur en eau	Teneur en cendres		Teneur en protéines	
	g/100g m <sub>f</sub>	g/100g m <sub>f</sub>	g/100g m <sub>s</sub>	g/100g m <sub>f</sub>	g/100g m <sub>s</sub>
<b>moyenne ± E.T</b>	89,71 ± 0,93	3,79 ± 0,40	31,43 ± 2,16	2,27 ± 0,34	19,871, ± 1,76

E.T. : écart type

Nos résultats indiquent que la teneur matière sèche est proche de celles rapportées par HOPNEER et LAMPI (1986) et ISLAM *et al.* (1987) qui sont respectivement de 12g/100g et 9,4g/100g.

La teneur moyenne en cendres est de  $3,79 \pm 0,40$  % m<sub>f</sub>. Cette valeur se situe entre 2,55g/100g m<sub>f</sub> (TOKORO *et al.*, 1987) et 3,33g/100g (SEHGAL *et al.* (1975) cité par NAFIR (1995)).

D'autre part, la teneur moyenne en cendres est de  $31,43 \pm 2,16$ % m<sub>s</sub>. C'est une teneur proche de celle indiquée par SEHGAL *et al.* (1975), cité par NAFIR (1995), qui est de l'ordre de 31,7g/100g m<sub>s</sub>.

Les protéines sont de l'ordre de  $2,27 \pm 0,34$ % m<sub>f</sub>. Cette valeur est supérieure à celle indiquée par ISLAM *et al.* (1987) qui est de 1,6 g/100g m<sub>f</sub>.

D'autre part, la teneur moyenne des protéines est de  $19,871, \pm 1,76$ % m<sub>s</sub>. C'est une teneur inférieure à celle indiquée par GUPTA et WAGLE (1988) (26,16g/100g m<sub>s</sub>).

#### 1.4. Propriétés rhéologiques du gluten après incorporation d'épinard

Les différentes propriétés rhéologiques de gluten après incorporation d'épinard dans la semoule sont regroupées dans le tableau 09. Elles sont comparées à celle de gluten avant incorporation d'épinard.

**Tableau 09.** Résultats des analyses rhéologiques de gluten après incorporation d'épinard

Taux d'incorporation d'épinard	Teneur en gluten humide (%)	Teneur en gluten sec (%)	Taux d'hydratation (%)	extensibilité (cm)	Ramollissement (mm)
0%	33,62±0,07	10,87± 0,12	67,24 ± 0,24	0,35 ± 0,05	1,20 ± 0,50
0,5%	31,58±0,61	10,70±0,30	66,08 ±1,60	1,00 ± 0,20	2,00 ± 0,50
1,0%	31,43±0,43	10,65 ±0,03	66,09±0,38	1,00 ± 0,20	2,00 ± 0,10
1,5%	31,34±0,96	10,62±0,53	66,11±0,66	1,25 ± 0,25	2,75 ± 0,25
2,0%	31,60±0,56	10,28 ±0,16	67,45± 0,06	1,20 ± 0,20	2,75 ± 0,05
2,5%	29,07±0,08	10,01±0,25	65,56±0,98	1,25 ± 0,25	2,75 ± 0,35
3,0%	29,25±0,78	10,04±0,14	65,64±1,42	1,25 ± 0,25	3,50 ± 0,16
3,5%	29,37±0,77	10,10±0,52	65,57±2,71	1,20 ± 0,10	3,00 ± 0,33
4,0%	29,45±0,49	9,78±0,14	66,90±1,07	1,25 ± 0,55	3,00 ± 0,75

#### 1.4.1. Teneur en gluten et taux d'hydratation après incorporation d'épinard

Malgré l'augmentation du taux d'incorporation d'épinard, l'extraction de gluten humide est possible. A une certaine limite, il devient mou et les protéines ne forment plus de réseau ferme.

Cela pourrait s'expliquer par une interaction de certains constituants de l'épinard avec les gliadines et les gluténines (constituants majeurs de gluten).

Au fur et à mesure de l'augmentation du taux d'incorporation de l'épinard dans la semoule, le taux de gluten sec semble diminuer progressivement malgré les précautions de la manipulation. Il passe de 10,87% ± 0,12 pour le témoin à 9,78% ± 0,14 pour un taux d'incorporation de (4,0%) d'épinard.

Par ailleurs, l'ANOVA ( $p < 0,01$ ) (tableau 10) montre que les taux de gluten sec ne présentent pas une différence significative entre eux.

En outre, les taux de gluten sec présentent des différences significatives ( $p < 0,05$ ) qui donnent une répartition en trois groupes homogènes : groupe A (4,0%), groupe B (témoin à 0,0%) et enfin un groupe intermédiaire AB (0,5% ; 1,0% ; 1,5% ; 2,0%, 2,5% ; 3,0% ; 3,5%).

**Tableau 10.** Comparaison des moyennes des teneurs en gluten sec et les taux d'hydratation à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%

	échantillons	Moyenne estimée	Groupes au seuil de 1%	Groupes au seuil de 5%
gluten sec (%)	0,0%	10,870	A	B
	0,5%	10,707	A	B
	1,0%	10,653	A	B
	1,5%	10,623	A	B
	2,0%	10,283	A	B
	2,5%	10,010	A	B
	3,0%	10,047	A	B
	3,5%	10,103	A	B
	4,0%	9,797	A	B
Taux d'hydratation (%)	0,0%	67,245	A	A
	0,5%	66,086	A	A
	1,0%	66,099	A	A
	1,5%	66,110	A	A
	2,0%	67,454	A	A
	2,5%	65,565	A	A
	3,0%	65,646	A	A
	3,5%	65,572	A	A
	4,0%	66,907	A	A

La diminution en gluten, qui constitue la charpente protéique, est un fait attendu car la proportion de semoule a progressivement diminuée dans les mélanges. C'est une sorte de dilution des protéines dans ces mélanges. Cela pourrait avoir des conséquences peu satisfaisantes du point de vue qualité des pâtes après cuisson.

En ce qui concerne le taux d'hydratation, l'ANOVA ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ) montre que l'augmentation du taux d'incorporation de l'épinard dans la semoule n'a pas un effet sur le taux d'hydratation de gluten. Elle ne présente pas une différence significative entre les échantillons. Ils peuvent être regroupés en un seul groupe homogène (A).

#### 1.4.2. Extensibilité et Ramollissement

Selon les valeurs relatives à l'extensibilité indiquées dans le tableau 09, on remarque une légère augmentation de l'extensibilité de gluten pour les différents taux d'incorporation. Elles varient entre  $0,35\text{cm} \pm 0,05$  (témoin) et  $3,00\text{ cm} \pm 0,75$  (incorporation de 4% d'épinard).

A travers l'ANOVA ( $p < 0,01$ ) (tableau 11), il n'existe pas une différence significative relative à l'extensibilité. Mais au seuil de 5%, l'ANOVA fait apparaître des différences significatives d'extensibilité en donnant une répartition en trois groupes homogènes : groupe A (témoin à 0,0%), groupe AB (0,5%, 1,0%) et groupe B (1,5%, 2,0%, 2,5%, 3,0%, 3,5%, 4,0%). Nos mélanges restent classer dans la catégorie des semoules à gluten de bonne qualité, selon KOSMINA et KRANZ cités par NAMOUNE (1989).

**Tableau 11.** Comparaison des moyennes de l'extensibilité (cm) à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et de 5%

Échantillon	Moyenne estimée (cm)	Groupes au seuil de 1%	Groupes au seuil de 5%
0,0%	0,350	A	A
0,5%	1,000	A	A B
1,0%	1,000	A	A B
2,0%	1,200	A	B
3,5%	1,200	A	B
1,5%	1,250	A	B
2,5%	1,250	A	B
3,0%	1,250	A	B
4,0%	1,250	A	B

Concernant le ramollissement, L'addition d'épinard a fait augmenter le ramollissement du gluten (tableau 09). Le gluten, après incorporation d'épinard, est classé dans la catégorie de " gluten de bonne qualité "selon KRAUZERS *et al.* (1966) cités par CHERIET (2000).

L'ANOVA ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ) montre que l'augmentation du taux d'incorporation de l'épinard dans la semoule (tableau 12) présente une différence significative et les échantillons peuvent être répartis en quatre groupes homogènes : groupe A (témoin à 0,0%), groupe AB (0,5%, 1,0%), groupe BC (1,5%, 2,0%, 2,5%, 3,5%, 4,0%) et groupe C (3,0%).

L'incorporation d'épinard pourrait avoir des conséquences sur l'extensibilité et le ramollissement qui son responsable de l'élasticité et la tenacité de gluten. POMERANZ (1983) indique que les pentosanes et les glycoprotéines contribuent à l'extensibilité du gluten.

**Tableau 12.** Comparaison des moyennes de ramollissement (mm) à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%

Échantillon	Moyenne estimée (mm)	Groupes au seuil de 1%		Groupes au seuil de 5%	
0,0%	1,200	A		A	
0,5%	2,000	A	B	A	B
1,0%	2,000	A	B	A	B
1,5%	2,750		B C	B	C
2,0%	2,750		B C	B	C
2,5%	2,750		B C	B	C
3,5%	3,000		B C	B	C
4,0%	3,000		B C	B	C
3,0%	3,500		C		C

## 2. Caractéristiques des pâtes alimentaires fabriquées avant et après incorporation d'épinard

Les paramètres recherchés sont déterminés à deux niveaux principalement, la qualité de la pâte après pétrissage et la qualité des pâtes obtenues.

### 2.1. Test de pastification

La détermination de la quantité d'eau optimale à ajouter à la semoule a pour but de rechercher les meilleures propriétés plastiques aussi bien pour les pâtes à base de blé dur que pour les pâtes incorporées d'épinard. Cette quantité d'eau compte tenu de l'humidité initiale de la semoule qui se situe généralement aux environs de 14 % (ms) (ABECASSIS *et al.*, 1994) et la forme finale de la pâte (DALBON *et al.*, 1996).

Les quantités d'eau à ajouter ont été déterminées sur la base des essais préliminaires. Pour 500 g de semoule de blé dur nous avons ajouté 10 g du sel et fait varier les taux d'hydratations, L'observation de comportement des pâtes, avec et sans épinard, a été faite durant les étapes de fabrication jusqu'à l'obtention d'une pâte lisse homogène et qui tient dans la main.

- Une hydratation insuffisante : la pâte obtenue est sèche, dure, cassante et maniabilité difficile.
- Une hydratation optimale : la pâte obtenue est élastique, non collante, lisse et facile à manier.
- Une sur-hydratation : la pâte obtenue est collante et difficile à manier.

Le tableau 13 regroupe les différents ingrédients pour la préparation des pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard.

**Tableau 13.** Les différents ingrédients pour la préparation des pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard

Taux d'incorporation d'épinard	Semoule (g)	Sel (g)	Épinard (g)	Ms /100 g mélange (semoule+ épinard)	Quantité d'eau (ml) ajoutée à 100g de mélange
0,0 %	500,0	10	00	96.52	45,4
0,50%	497,5	10	27,05	96.50	44,2
1,00%	495,0	10	54,11	96.42	41,4
1,50%	492,5	10	72,88	96.46	44
2,00%	490,0	10	97,18	96.48	44,2
2,50%	487,5	10	104,82	96.43	43,9
3,00%	485,0	10	125,31	96.41	43,6
3,50%	482,5	10	173,09	96.39	42,9
4,00%	480,0	10	197,82	96.37	42,8

Ms : matière sèche

D'après nos résultats, il en résulte que le taux d'hydratation des différentes pâtes reste stable malgré l'augmentation du taux d'incorporation d'épinard.

Il faut noter que l'augmentation des taux d'incorporation d'épinard engendre plus de travail pendant le pétrissage. Aussi, il ressort que la pâte incorporée d'épinard présente une certaine dureté et s'étire difficilement par rapport à celle du témoin de semoule de blé dur, ainsi le laminage devient difficile en raison de cette dureté.

L'aspect des pâtes alimentaires est déterminé par trois groupes de paramètres : la couleur, le nombre et l'origine des piqûres brunes dues à la présence de particules de sons et des piqûres noires provenant de grains mouchetés et aussi à partir de la texture des produits représentée par des gerçures, bulles d'air, points blancs et état de surface des pâtes sèches qui dépendent des conditions de fabrication (FEILLET, 2000).

FEILLET (1986) avait constaté la présence de gerçures au niveau des pâtes du commerce dont leur fabrication a été réalisée de façon industrielle et séchée dans des sécheurs à différentes températures.

Ces constatations confirment les observations faites dans le cas de notre étude.

- A un taux nul d'incorporation d'épinard, les pâtes produites sont de couleur jaune crème, c'est la couleur caractéristique de la semoule.
- La coloration verte devient plus en plus intense lorsque le pourcentage d'épinard incorporé augmente, ce qui est dû à la richesse d'épinard en chlorophylle.
- Les pâtes obtenues avec les différents mélanges présentaient des caractéristiques convenables, sans piqures.
- Après séchage, les pâtes sont fragiles et leur texture superficielle est moins lisse.

## 2.2. Caractéristiques physiques des pâtes obtenues

Les pâtes traditionnelles ont, en général, une forme irrégulière.

Le découpage de *Mkartfa* est effectué dans la section découpage de la machine à pâte où la largeur est fixée à 3mm mais nous remarquons (tableau 14) une légère augmentation de l'épaisseur des pâtes. Cela pourrait être dû à l'effet de l'expansion de la pâte à la sortie de la section de découpage.

Après séchage, les brins de *Mkartfa* incorporés d'épinard sont plus épais que les brins de *Mkartfa* témoins alors que nous avons réalisé des étalements identiques. La modification des caractéristiques fonctionnelles du gluten, la teneur global en protéines et en amidon pourrait expliquer ces différences d'épaisseur.

La longueur des pâtes sèches diffèrent considérablement par rapport aux pâtes fraîches. Cela est dû à leur fragilité après séchage.

La masse volumique des pâtes fraîches est plus importante que celle des pâtes sèches ce qui est lié à l'échappement de l'eau lors de séchage.

Le tableau 14 regroupe les différentes caractéristiques physiques de *Mkartfa* avant et après incorporation d'épinard.

**Tableau 14.** Caractéristiques physiques de *Mkartfa* avant et après incorporation d'épinard

Taux d'incorporation d'épinard	Largeur (cm)		Longueur (cm)		Épaisseur (cm)		Masse volumique g/cm <sup>3</sup>	
	Pâte fraîche	Pâte sèche	Pâte fraîche	Pâte sèche	Pâte fraîche	Pâte sèche	Pâte fraîche	Pâte sèche
0 %	0,3	0.29	18,20 ± 1,06	14.30 ±1.05	0,37 ± 0,12	0.36 ± 0.13	2.37± 0,04	0.25 ±0.03
0,50%	0,3	0.28	12,75 ± 1,38	10.35 ±1.37	0,33 ± 0,19	0.32 ± 0.18	2.37 ± 0,09	0.40 ± 0.08
1,00%	0,3	0.28	16,03 ± 2,37	5.63 ± 2.38	0,33 ± 0,22	0.31 ± 0.23	2.88 ± 1,20	0.31 ± 0.19
1,50%	0,3	0,29	14,80 ± 2,04	4.3 ± 2.03	0,38 ± 0,10	0.37 ± 0.09	2.86± 1,30	0.29 ± 0.31
2,00%	0,3	0.27	13,68 ± 2,47	9.5 ± 2.45	0,38 ± 0,21	0.36 ± 0.22	3.00 ± 0,60	0.35 ± 0.39
2,50%	0,3	0.27	13,88 ± 1,30	8.3 ± 1.28	0,30 ± 0,08	0.29 ± 0.09	2.80 ± 0,67	0.34 ± 0.26
3,00%	0,3	0.28	15,53 ± 1,88	10.6 ± 1.87	0,38 ± 0,13	0.36 ± 0.14	3.16 ± 0,25	0.33 ± 0.26
3,50%	0,3	0.29	16,08 ± 2,70	12.04 ±2.71	0,38 ± 0,15	0.37 ± 0.16	3.00 ± 0,32	0.34 ± 0.33
4,00%	0,3	0.26	15,40 ± 2,33	10.12 ±2.34	0,38 ± 0,10	0.37 ± 0.11	3.07 ± 0,65	0.30 ± 0.2 ± 6

### 2.3. Caractéristiques physico-chimiques des pâtes obtenues avant et après incorporation d'épinard

La caractérisation physico-chimique des pâtes obtenues nous permis de mieux caractériser l'effet de l'incorporation d'épinard sur leur composition.

Les résultats des analyses chimiques de pâtes obtenues avant et après incorporation d'épinard sont regroupés dans le tableau 15.

**Tableau 15.** Caractéristiques physico-chimiques de *Mkartfa* avant et après incorporation d'épinard

Taux d'incorporation d'épinard	Humidité des pâtes fraîches %	Humidité des pâtes sèches %	Cendre /100 g de ms	Protéine / 100 g de ms
0,0 %	39,76 ± 3,40	11,22 ± 0,54	1,03 ± 0,05	12,12 ± 0,41
0,50%	40,13 ± 3,94	10,89 ± 2,54	1,16 ± 0,06	12,04 ± 0,26
1,00%	37,95 ± 1,08	10,52 ± 2,36	1,14 ± 0,05	11,32 ± 0,31
1,50%	39,29 ± 1,40	10,30 ± 1,19	1,15 ± 0,05	11,02 ± 0,59
2,00%	40,99 ± 2,46	09,92 ± 1,30	1,20 ± 0,06	10,22 ± 0,19
2,50%	41,02 ± 4,14	09,74 ± 1,02	1,19 ± 0,03	10,34 ± 0,41
3,00%	41,74 ± 2,83	09,98 ± 1,80	1,27 ± 0,18	10,02 ± 0,21
3,50%	42,01 ± 3,61	09,88 ± 0,21	1,31 ± 0,14	9,83 ± 0,20
4,00%	41,52 ± 2,66	09,82 ± 2,01	1,38 ± 0,13	9,96 ± 0,42

mh : matière humide et ms : matière sèche

### 2.3.1. Humidité

D'après le tableau 15, la teneur en eau dans les pâtes fraîches semble augmenter avec l'augmentation du taux d'incorporation d'épinard. Elle est de l'ordre de 39,76 % ± 3,40, pour *Mkartfa* témoin, et elle a pu atteindre 42,01% ± 3,61 pour *Mkartfa* à 3,50% d'épinard.

La comparaison entre les moyennes de l'humidité des pâtes fraîches est représentée dans le tableau 16, l'analyse de la variance ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ) ne montre aucune différence significative entre les différentes pâtes. Elles peuvent être regroupées en un seul groupe homogène (A).

L'humidité des pâtes sèches présente des différences significatives ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ) (Tableau 16) et donne une même répartition en six groupes homogènes. *Mkartfa* témoin a la teneur en eau la plus élevée (11,22 % ± 0,54). *Mkartfa* à 4, 0% d'épinard a l'humidité la moins importante (09,82 % ± 2,01).

Les données bibliographiques sont très variables par rapport à l'humidité des pâtes alimentaires.

L'humidité de *Mkartfa* sèche à différents taux d'incorporation d'épinard reste inférieure à la limite donnée par plusieurs auteurs (12,5%). Cette humidité peut s'expliquer par les conditions de séchage et par la différence de quantité d'eau ajoutée pour la préparation de *Mkartfa* à différents taux d'incorporation d'épinard. .

**Tableau 16.** Comparaison des moyennes de l'humidité des pâtes fraîches et sèches (%) à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%

	Échantillon	Moyenne estimée	Groupes au seuil de 1%	Groupes au seuil de 5%
pâtes fraîches	3,5%	42,673	A	A
	3,0%	41,740	A	A
	2,5%	41,690	A	A
	2,0%	41,657	A	A
	4,0%	41,523	A	A
	0,5%	40,130	A	A
	1,5%	39,290	A	A
	0,0%	38,980	A	A
	1,5%	37,950	A	A
pâtes sèche (%)	0,0%	11,210	A	A
	0,5%	11,010	A	A
	1,0%	10,633	B	B
	1,5%	10,257	C	C
	2,0%	9,857	D	D
	3,0%	9,770	D	D
	2,5%	9,617	D	D
	3,5%	9,137	E	E
	4,0%	8,780	F	F

### 2.3.2. Teneur en cendres

La teneur en cendre est de l'ordre de  $1,03 \text{ \%ms} \pm 0,05$  pour *Mkartfa* témoin. L'augmentation du taux d'épinard incorporé engendre une augmentation progressive de la teneur en cendre ( $1,38 \text{ \%ms} \pm 0,13$  pour *Mkartfa* à 4,0% d'épinard) (Tableau 15).

L'ANOVA montre que l'augmentation du taux d'incorporation de l'épinard dans la semoule présente une différence significative par rapport au taux de cendres des pâtes obtenues

(tableau 17) et donne la même répartition en trois groupes homogènes (pour les deux seuils étudiés :  $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ).

L'augmentation de la teneur en cendre est une sorte de concentration en matières minérales provenant d'épinard incorporé à la semoule.

**Tableau 17.** Comparaison des moyennes des teneurs en cendres à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%

échantillon	Moyenne estimée	Groupes au seuil de 1%		Groupes au seuil de 5%	
0,0%	1,029	A		A	
1,0%	1,143	A	B	A	B
1,5%	1,153	A	B	A	B
0,5%	1,160	A	B	A	B
2,5%	1,190	A	B	A	B
2,0%	1,197	A	B	A	B
3,0%	1,273	A	B	A	B
3,5%	1,307	A	B		B
4,0%	1,383		B		B

### 2.3.3. Teneur en protéines

La teneur en protéines semble diminuer en fonction du taux d'incorporation d'épinard. Elle est de l'ordre de  $12,12 \text{ \%ms} \pm 0,41$  pour *Mkartfa* témoin, et de  $9,96 \text{ \%ms} \pm 0,42$  pour *Mkartfa* à 4, 0% d'épinard.

D'après l'ANOVA ( $p < 0,01$ ) (tableau 18), les taux de protéines présentent des différences significatives qui donnent une répartition en cinq groupes homogènes.

Le tableau 18 indique que l'ANOVA ( $p < 0,05$ ) fait apparaître aussi des différences significatives et donne une autre répartition en six groupes homogènes.

Cette constatation est due à l'effet de la dilution des protéines du gluten consécutive à l'incorporation d'épinard à la semoule.

La teneur en protéines des semoules exerce une influence considérable sur les propriétés viscoélastiques des pâtes et sur la qualité culinaire du produit fini (MASTUO et IRVINE, 1970 ; FEILLET, 2000 ; SISSONS, 2008 ; PETITOT *et al.*, 2010 ; PURNIMA *et al.*, 2011).

**Tableau 18.** Comparaison des moyennes des teneurs en protéines à différents taux d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5

Échantillon	Moyenne estimée	Groupes au seuil de 1%	Groupes au seuil de 5%
4,0%	9,273	A	A
3,5%	9,797	A	A B
2,5%	10,000	A	A B
3,0%	10,030	A B	A B
2,0%	10,233	A B	B C
1,5%	11,023	B C	C D
1,0%	11,327	C D	D E
0,5%	12,080	D	E
0,0%	12,113	D	E

*La composition des pâtes avant incorporation d'épinard est à peu près la même que celle des matières premières employées à leur fabrication.*

*L'incorporation d'épinard, jusqu'à 4%, influe la composition physico-chimique de Mkartfa.*

#### 2.4. Qualité culinaire des pâtes

La semoule de blé dur contient deux composés majeurs, l'amidon et les protéines (gluténines et gliadines principalement) qui sont structurés au cours du procédé de fabrication des pâtes et pendant la cuisson.

La qualité culinaire des pâtes fabriquées dans notre étude a été évaluée par la détermination du Temps Optimum de Cuisson (TOC), l'indice de gonflement, degré de délitescence et l'analyse sensorielle des pâtes.

Le tableau 19 regroupe l'ensemble des résultats obtenus pour *Mkartfa* avant et après incorporation d'épinard.

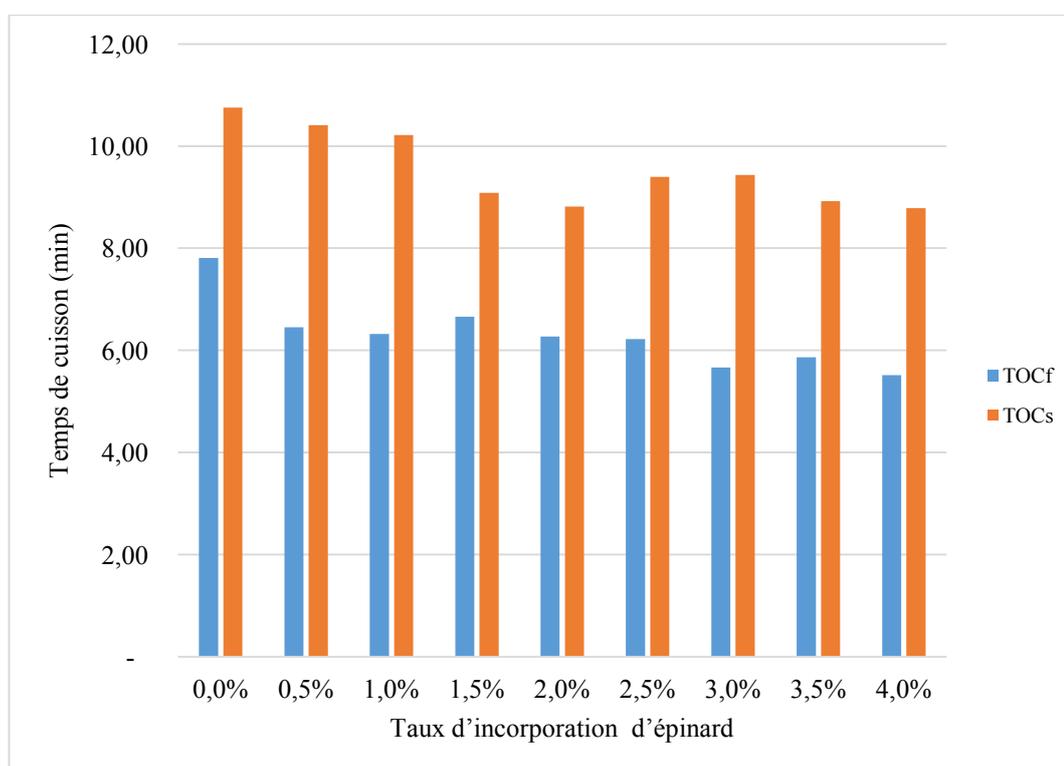
**Tableau 19.** Qualité culinaire de *Mkartfa* avant et après incorporation d'épinard

Taux d'incorporation d'épinard	Temps de cuisson (min)		Poids de l'extrait sec en g/100 g de pâte		Indice de gonflement (%)	
	pâtes fraîches	pâtes sèches	pâtes fraîches	pâtes sèches	pâtes fraîches	pâtes sèches
0,0 %	7,81	10,75	70,18	69,62	168.08	255.90
0,50%	6,45	10,41	71,10	70,03	172.87	264.33
1,00%	6,32	10,22	76,00	70,80	183.17	274.69
1,50%	6,66	9,08	84,68	72,48	183.55	323.15
2,00%	6,27	8,81	84,47	74,80	184.32	329.80
2,50%	6,22	9,40	86,91	76,47	187.61	331.91
3,00%	5,67	9,43	90,34	75,65	191.75	337.65
3,50%	5,87	8,92	87,47	78,64	189.09	335.53
4,00%	5,51	8,78	92,80	77,75	189.78	336.10

#### 2.4.1. Temps de cuisson des pâtes avant et après incorporation d'épinard

Le temps minimal, optimal et maximal de cuisson correspondent respectivement à la durée à partir duquel l'amidon est gélatinisé, au temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée et au temps au-delà duquel les produits se désintègrent dans l'eau de cuisson (FRANK *et al.*, 2002 ; ABECASSIS, 2011).

Le temps optimum de cuisson des différentes pâtes, représenté dans la figure 10, a été utilisé pour évaluer les pertes à la cuisson (degré de délitescence) et l'indice de gonflement des pâtes fabriquées.



**Figure 10.** Temps optimal de cuisson de *Mkartfa*, fraîche et sèche, à différents taux d'incorporation d'épinard

Nous avons constaté que les pâtes fraîches ont des temps de cuisson plus courts que ceux des pâtes sèches.

D'autre part, nous avons remarqué que les pâtes, fraîches ou sèches, incorporées d'épinard se caractérisent par un temps de cuisson plus court que celle du témoin (figure 10). Le temps de cuisson enregistré, par exemple, pour les pâtes fraîches témoin est de 7,81min, contre 5,51min dans le cas des pâtes à 4,0% d'épinard. Pour les pâtes sèches, les temps de cuisson enregistré pour les pâtes témoin et les pâtes à 4,0% d'épinard sont, respectivement, 10,75 min et 8,78 min.

Pour les pâtes fraîches, l'ANOVA ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ) montre une différence significative par rapport au temps de cuisson et nous donne une répartition en trois groupes homogènes.

Par contre, l'ANOVA ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ) ne montre aucune différence significative entre les pâtes sèches vis-à-vis de ce même paramètre.

Cette différence de temps de cuisson enregistré entre les pâtes témoin et celles incorporées d'épinards pourrait s'expliquer par la diminution de la quantité du gluten par effet de dilution et de la rupture physique de la matrice du gluten. Ces transformations entraînent par

conséquent la formation dans la pâte d'un réseau du gluten plus faible ce qui facilite l'absorption de l'eau et diminue le temps de cuisson.

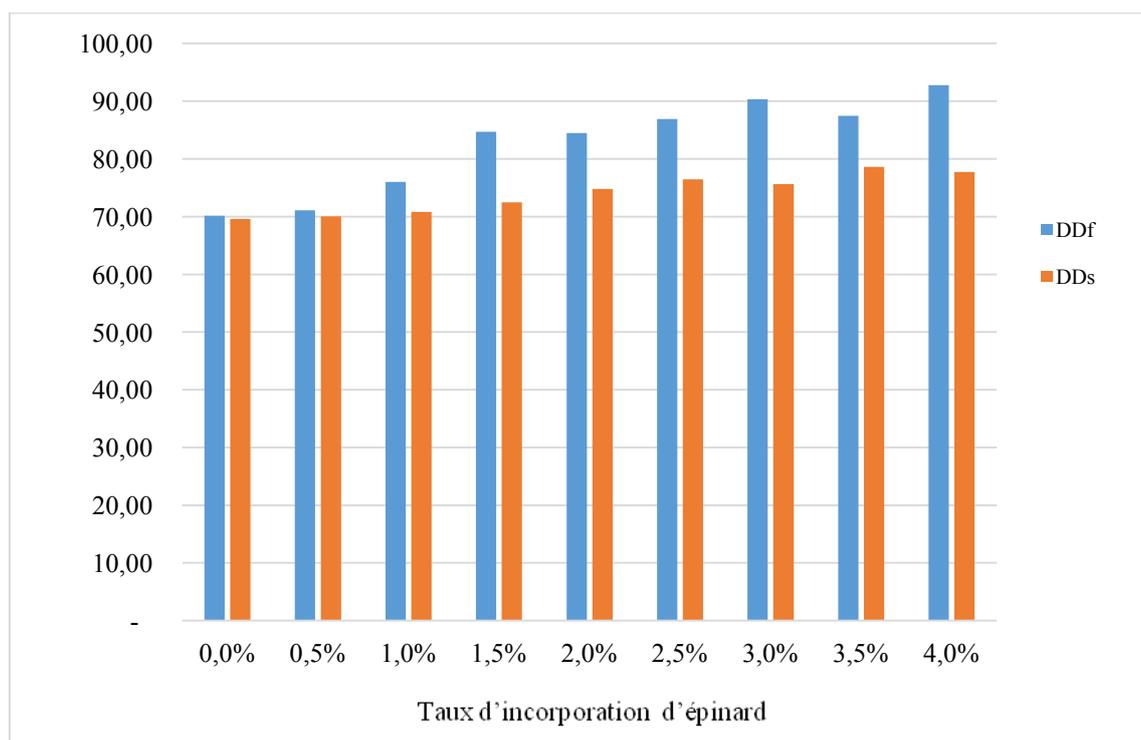
**Tableau 20.** Comparaison des temps optimal de cuisson de *Mkartfa* fraîche (min) à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%

	Echantillons	Moyenne estimée (TOC)	Groupes au seuil de 1%		Groupes au seuil de 5%	
<i>Mkartfa</i> fraîche	0,0%	7,807	A		A	
	1,5%	6,657	A	B	A	B
	0,5%	6,453	A	B	A	B
	1,0%	6,323	A	B	A	B
	2,0%	6,270	A	B		B
	2,5%	6,223	A	B		B
	3,5%	5,867		B		B
	3,0%	5,667		B		B
	4,0%	5,513		B		B
<i>Mkartfa</i> sèche	0,0%	10,753	A		A	
	0,5%	10,410	A		A	
	1,0%	10,217	A		A	
	3,0%	9,433	A		A	
	2,5%	9,397	A		A	
	1,5%	9,083	A		A	
	3,5%	8,923	A		A	
	2,0%	8,813	A		A	
	4,0%	8,783	A		A	

#### 2.4.2. Degré de délitescence

Selon YETTOU *et al.* (2000), le degré de délitescence des pâtes correspond au degré de désintégration des pâtes cuites.

La figure 11 représente le degré de délitescence (en % de matière sèche) des pâtes fraîches et sèches.



**Figure 11.** Degré de délitescence (en % de matière sèche) des pâtes fraîches et sèches.

Les pertes de matière dans l'eau de cuisson augmentent progressivement avec l'augmentation du pourcentage d'épinard incorporé (figure 11).

Cependant, il ressort, d'après l'ANOVA, qu'il existe une différence significative entre les pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard au seuil de signification de 1% et 5% pour les pâtes fraîches et sèches (tableau 21). Les pâtes témoin ont les pertes de matière les plus faibles, dans l'eau de cuisson.

Les protéines de blé dur se composent principalement de gluténines et gliadines qui ont une capacité de former des liaisons disulfures intra- et intermoléculaires conduisant à la formation d'un réseau tridimensionnel appelé gluten lui-même responsable des propriétés élastiques et culinaires des pâtes alimentaires (MASTUO et IRVINE, 1970). La quantité de gluten et la qualité de ses protéines sont des facteurs prédéterminant de la valeur pastière de la semoule (FEILLET et DEXTER, 1996 ; FEILLET, 2000) et de la texture de la pâte (SISSONS *et al.*, 2007).

**Tableau 21.** Comparaison de degré de délitescence (en % ms) des pâtes fraîches et sèches à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%

	Échantillon	Moyenne estimée	Groupes au seuil de 1%	Groupes au seuil de 5%
<i>Mkartfa</i> fraîche	4,0%	92,800	A	A
	3,0%	89,767	A B	A B
	3,5%	87,467	A B	A B
	2,5%	86,910	A B	B
	1,5%	84,683	B	B
	2,0%	84,467	B	B
	1,0%	76,000		C
	0,5%	71,100		C D
	0,0%	70,177		D
<i>Mkartfa</i> sèche	3,5%	78,643	A	A
	4,0%	77,753	A B	A B
	2,5%	76,473	A B	A B
	3,0%	75,647	A B C	A B
	2,0%	74,800	B C	B C
	1,5%	72,483		C D
	1,0%	70,800		D
	0,5%	70,030		D
	0,0%	69,617		D

Ainsi et conformément à nos résultats, il ressort que la plupart des auteurs ont aussi constaté une perte de matière élevée à la cuisson notamment dans les spaghettis enrichis soit par la farine de légumineuses alimentaires, soit par de la farine de soja et ce par suite à la destruction de la matrice protéique (NIELSEN *et al.*, 1980 ; ZHAO *et al.*, 2005 ; NASEHI *et al.*, 2011).

Toutes ces modifications observées et décrites relatives à la solubilité des protéines semblent résider au niveau du changement du degré d'association entre les chaînes polypeptidiques, les liaisons hydrogènes, les interactions hydrophobes et les liaisons covalentes.

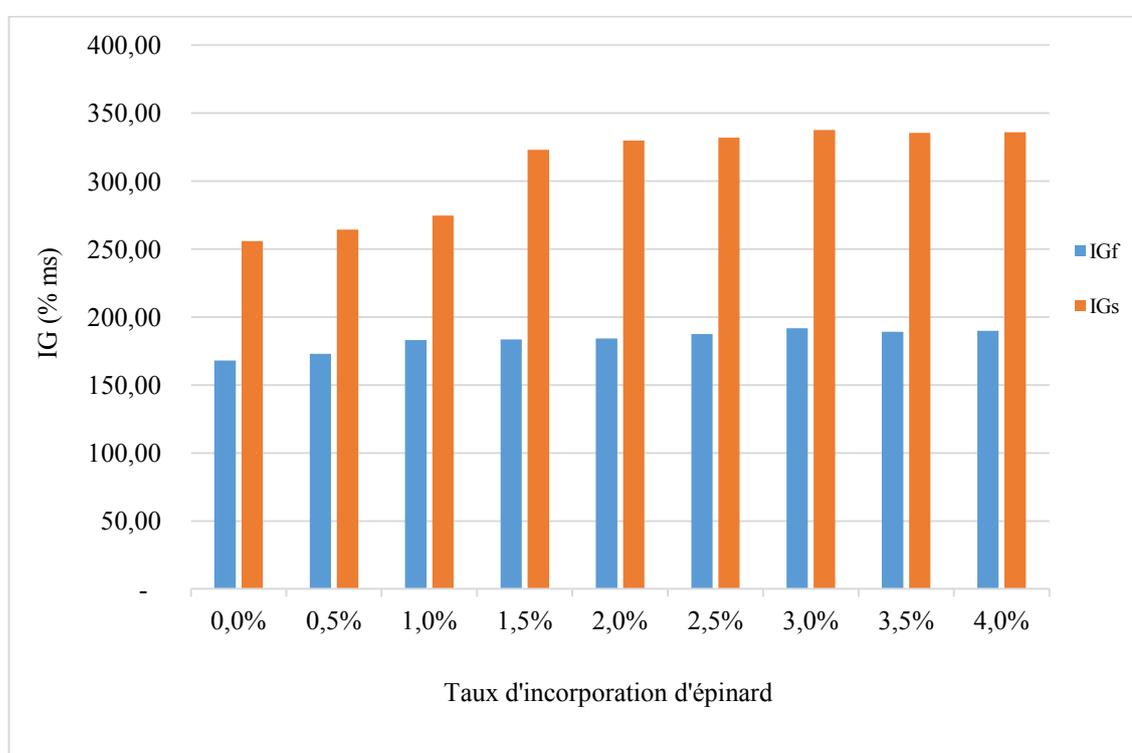
L'état de surface ou de désintégration des produits cuits dépend du degré d'adhésion des brins (notion de collant) et aussi de l'aspect plus ou moins lisse des produits cuits (notion de délitescence) (SUNG *et al.*, 2003 ; ABECASSIS, 2011) ;

### 2.4.3. Gonflement

Le gonflement renseigne sur la capacité d'absorption d'eau des pâtes cuites. Il est déterminé par différence de poids entre la pâte avant et après la cuisson.

L'absorption et le gonflement résultent de l'expansion de réseau protéique et du remplissage par l'eau des volumes libérés entre amidon et protéines (COLONNA et ROUAU (1986) cités par BOUKEZZOULA (2003)).

La figure 12 représente l'évaluation l'indice de gonflement des différentes pâtes fraîches et sèches à différents taux d'incorporations d'épinard.



**Figure 12 .** Indice de gonflement des pâtes fraîches et sèches à différents taux d'incorporations d'épinard

L'ANOVA, au seuil de 1%, ne montre pas une différence significative d'indice de gonflement entre les différentes pâtes fraîches incorporés d'épinard. Alors qu'au seuil de 5% la différence significative existe (tableau 22).

Pour les différentes pâtes sèches incorporées d'épinard, la différence est significative ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ) et donne une répartition en deux groupes homogènes. La pâte témoin et les pâtes incorporées de (0,5%) et de (1, 5%) d'épinard appartiennent au même groupe homogène et elles ont l'indice de gonflement le moins important (tableau 22).

L'absorption d'eau se fait par le réseau protéique ainsi que par les granules d'amidons (ABECASSIS *et al.*, 1994 ; FEILLET, 2000 ; PETITOT *et al.*, 2009c ; PETITOT *et al.*, 2010). Il existe une différence relative au gonflement entre les différentes pâtes.

BUSHUK (1974) a estimé par calcul que 45,5 p. cent de l'eau totale de la pâte sont absorbés par l'amidon, 31,2 p. cent par les protéines et 23,4 p. cent par les pentosanes. Le grain d'amidon intact absorbe la moitié de son poids, le grain endommagé absorbe 2 fois son poids, les protéines environ 2 fois leur poids et les pentosanes 15 fois leur poids.

Le tableau 22 représente la comparaison des moyennes des quantités d'eau absorbée par les pâtes fraîches et sèches à différent taux d'incorporation d'épinard à deux niveaux de signification (1% et 5%).

**Tableau 22.** Comparaison des moyennes des indices de gonflement des pâtes fraîches et sèches à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et 5%

	Échantillon	Moyenne estimée	Groupes au seuil de 1%	Groupes au seuil de 5%
<i>Mkarfa</i> fraîche	3,0%	191,750	A	A
	4,0%	189,777	A	A B
	3,5%	189,093	A	A B
	2,5%	187,610	A	A B
	2,0%	184,320	A	A B
	1,5%	183,550	A	A B
	1,0%	183,170	A	A B
	0,5%	172,867	A	A B
	0,0%	168,077	A	B
<i>Mkarfa</i> sèche	3,0%	337,647	A	A
	4,0%	336,100	A	A
	3,5%	335,530	A	A
	2,5%	331,907	A	A
	2,0%	329,800	A	A
	1,5%	323,147	A	A
	1,0%	274,690		B B
	0,5%	264,333		B B
	0,0%	255,900		B B

Cette différence pourrait s'expliquer par l'augmentation progressive de la teneur en pentosanes lors de l'incorporation d'épinard dans les pâtes. Selon VIERLING (1999), au cours de la cuisson des produits céréaliers, les hémicelluloses de type pentosanes favorisent les propriétés de gonflement et la capacité d'absorption et de rétention d'eau. KULP et BECHTEL (1963), cité par NAMOUN (1996), ont estimé que le 1/3 de l'eau de la pâte est absorbé par les pentosanes.

Il existe des interactions entre les ingrédients utilisés et la capacité d'absorption d'eau à temps optimal de cuisson.

## **2.5. Analyses sensorielles**

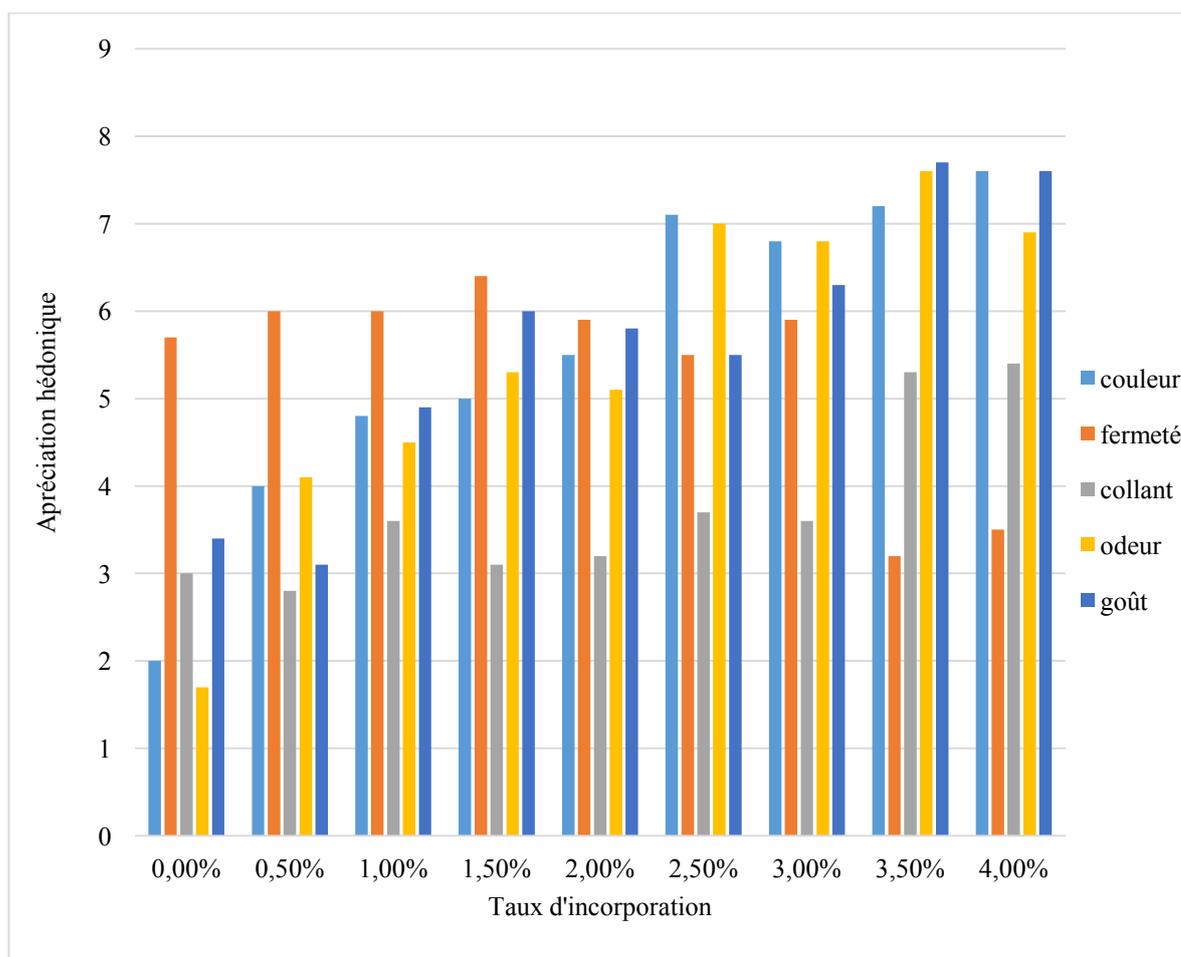
Après le suivi des évolutions des paramètres physicochimiques et culinaires des différentes pâtes, nous soumettons ces produits à une appréciation sensorielle qui reste la procédure la plus fiable car elle porte sur l'ensemble des caractéristiques des pâtes cuites.

### **2.5.1. Le test hédonique**

Après dégustation des différentes pâtes par un panel expérimenté, nous avons constaté que les dégustateurs ont perçu de manière très singulière les différents paramètres sensoriels étudiés ( la couleur, la fermeté, le collant, l'odeur et le goût).

Le test hédonique nous permet par la suite de déterminer la présence ou l'absence des corrélations entre les paramètres physicochimiques, culinaires et sensoriels.

Les résultats de test hédonique des différents échantillons des pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard sont représentés dans la figure 13.



**Figure13.** valeurs moyennes de test hédonique pour les pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard

### 2.5.1.1. La couleur

L'analyse des moyennes des notes attribuées à la couleur des échantillons montre que *Mkartfa* témoin a la coloration la moins intense. C'est la couleur caractéristique de la semoule.

Les dégustateurs ont pu percevoir une augmentation de l'intensité de couleur avec l'augmentation de taux d'incorporation d'épinard.

L'ANOVA, au seuil de signification de 1% et de 5%, confirme l'existence d'une différence significative entre les différentes pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard (tableau 23).

**Tableau 23.** Comparaison des moyennes de la couleur des pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et de 5%

Échantillon	Moyenne estimée	Groupes au seuil de 1%			Groupes au seuil de 5%		
4,0%	7,600	A			A		
3,5%	7,200	A B			A		
2,5%	7,100	A B			A		
3,0%	6,800	A B C			A B		
2,0%	5,500	B C D			B C		
1,5%	5,000	C D			C		
1,0%	4,800	D			C		
0,5%	4,000	D			C		
0,0%	2,000				E D		

### 2.5.1.2. La fermeté et le collant

Pour les notations sur le caractère fermeté, l'analyse de la variance (ANOVA) montre une différence significative ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ) entre les différentes pâtes étudiées et donne une même répartition en deux groupes homogènes.

Les pâtes *Mkartfa* à un taux d'incorporation d'épinard de (3,5%) et de (4,0%) (groupe homogène B) ont le caractère le moins ferme.

Par ailleurs, l'analyse des notations sur le caractère collant, à l'aide de l'ANOVA, met clairement une différence significative ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ) entre la pâte témoin et celles incorporées d'épinard. La pâte *Mkartfa* à un taux d'incorporation d'épinard de (4,0%) représente le caractère le plus collant (tableau 24).

Il ressort clairement que les dégustateurs ont pu percevoir que la pâte témoin issue de la semoule de blé dur a le caractère le plus ferme et moins collant.

De nombreuses études ont mis en évidence une forte corrélation entre la teneur en protéines et la qualité culinaire des pâtes. Une forte teneur en protéines donne au produit un caractère plus ferme et s'oppose au caractère « collant ».

**Tableau 24.** Comparaison des moyennes de la fermeté du collant des pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et de 5%

	Échantillon	Moyenne estimée	Groupes au seuil de 1%		Groupes au seuil de 5%	
Fermeté	0,0%	5,700	A		A	
	0,5%	6,000	A		A	
	1,0%	6,000	A		A	
	1,5%	6,400	A		A	
	2,0%	5,900	A		A	
	2,5%	5,500	A		A	
	3,0%	5,900	A		A	
	3,5%	3,200	B		B	
	4,0%	3,500	B		B	
Collant	4,0%	5,400	A		A	
	3,5%	5,300	A		A	B
	2,5%	3,700	A	B	B	C
	1,0%	3,600	A	B		C
	3,0%	3,600	A	B		C
	2,0%	3,200		B		C
	1,5%	3,100		B		C
	0,0%	3,000		B		C
	0,5%	2,800		B		C

### 2.5.1.3. L'odeur et le goût

Le caractère odeur semble dépendre lui aussi du niveau de taux d'incorporation d'épinard. Les notes attribuées aux différentes pâtes analysées, par les dégustateurs, montre une augmentation progressive de l'intensité de ce caractère.

L'intensité de goût semble augmenter au fur et à mesure qu'on augmente les taux d'incorporation d'épinard dans la formule initiale (témoin).

L'ANOVA ( $p < 0,01$  et  $p < 0,05$ ) confirme l'existence une différence significative de l'intensité des deux caractères odeur et goût des pâtes à différents taux d'incorporation d'épinard (tableau 25).

**Tableau 25.** Comparaison des moyennes de l’odeur et du goût des pâtes à différents taux d’incorporation d’épinard par le test de Tukey HSD au seuil de 1% et de 5%

	Échantillon	Moyenne estimée	Groupes au seuil de 1%		Groupes au seuil de 5%	
<b>Odeur</b>	3,5%	7,600	A		A	
	2,5%	7,000	A	B	A	B
	4,0%	6,900	A	B	A	B
	3,0%	6,800	A	B	A	B C
	1,5%	5,300		B C		B C D
	2,0%	5,100		B C		C D
	1,0%	4,500		C		D
	0,5%	4,100		C		D
	0,0%	1,700		C		D
<b>Goût</b>	3,5%	7,700	A		A	
	4,0%	7,600	A		A B	
	3,0%	6,300	A	B	A	B C
	1,5%	6,000	A	B		B C
	2,0%	5,800	A	B		C
	2,5%	5,500		B		C
	1,0%	4,900		B	C	C D
	0,0%	3,400			C	D E
	0,5%	3,100			C	E

### 2.5.2. Le test de classement

Pour réaliser ce test, il s'agit de classer les différents substrats en faveur de certains paramètres.

Nous avons demandé aux dégustateurs de classer les différents échantillons de pâte selon l’acceptabilité, sans donner d’égalité même s’il semble comparable.

L’ensemble des résultats du test de classement par rang, des 09 pâtes cuites étudiées, est représenté dans le tableau 26.

Tableau 26. Résultats du test de classement par rang des pâtes cuites

Dégustateur	Échantillons								
	A 0,0%	B 0,5%	C 1,0%	D 1,5%	E 2,0%	F 2,5%	G 3,0%	H 3,5%	I 4,0%
1	1	5	2	4	6	7	3	9	8
2	2	3	1	5	6	8	4	7	9
3	1	2	4	5	6	7	3	9	8
4	3	2	1	4	6	6	7	9	8
5	1	4	3	2	5	6	7	8	9
6	1	2	5	6	4	9	3	8	7
7	2	3	1	5	4	9	7	6	8
8	1	4	3	2	7	5	6	8	9
9	2	1	4	3	9	5	6	7	8
10	1	4	2	3	7	6	5	8	9
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>39</b>	<b>60</b>	<b>68</b>	<b>51</b>	<b>79</b>	<b>83</b>
<b>classement</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>9</b>

Les différences entre les totaux de classement par paires étaient les suivantes :

$$B - A = 30 - 15 = 15$$

$$B - C = 26 - 15 = 11$$

$$C - A = 26 - 15 = 11$$

$$D - A = 39 - 15 = 24$$

$$D - B = 39 - 30 = 09$$

$$D - C = 39 - 26 = 13$$

$$E - A = 60 - 15 = 45$$

$$E - B = 60 - 30 = 30$$

$$E - C = 60 - 26 = 34$$

$$E - D = 60 - 39 = 21$$

$$E - G = 60 - 51 = 09$$

$$F - A = 68 - 15 = 53$$

$$F - B = 68 - 30 = 38$$

$$F - C = 68 - 38 = 30$$

$$F - D = 68 - 39 = 29$$

$$F - G = 68 - 51 = 17$$

$$F - E = 68 - 60 = 08$$

$$G - A = 51 - 15 = 36$$

$$G - B = 51 - 30 = 21$$

$$G - C = 60 - 26 = 34$$

$$G - D = 51 - 39 = 12$$

$$G - B = 51 - 30 = 21$$

$$G - C = 60 - 26 = 34$$

$$G - D = 51 - 39 = 12$$

$$H - A = 79 - 15 = 64$$

$$H - B = 79 - 30 = 49$$

$$H - C = 79 - 26 = 53$$

$$H - D = 79 - 39 = 40$$

$$H - E = 79 - 60 = 19$$

$$H - F = 79 - 68 = 11$$

$$H - G = 79 - 51 = 28$$

$$I - A = 83 - 15 = 68$$

$$I - B = 83 - 30 = 53$$

$$I - C = 83 - 26 = 57$$

$$I - D = 83 - 39 = 44$$

$$I - E = 83 - 60 = 23$$

$$I - F = 83 - 68 = 15$$

$$I - G = 83 - 51 = 32$$

$$I - H = 83 - 79 = 04$$

La valeur critique calculée pour  $p \leq 0,05$ , (10 dégustateurs et 09 échantillons) est de 38 d'après le tableau annexe.

Les différences entre les totaux de classement par paires, montrent qu'il y a de différences significatives (différences  $\geq 38$ ) entre l'acceptabilité des pâtes (A et E), (F et A), (F et C), (H et A), (H et B), (H et C), (H et D), (I et A), (I et B), (I et C) et (I et D).

Pour les autres paires, il paraît que la différence est non significative au seuil de 5% (différences  $< 38$ ).

Nous concluons que les dix dégustateurs ont classé les différentes pâtes type *Mkartfa* selon l'acceptabilité comme suit :

En attribuant le premier rang à la pâte témoin (0,0%) suivi, en deuxième rang, par la pâte *Mkartfa* incorporée à (1,0%) d'épinard, puis successivement les pâtes incorporées à (0.5%), (1.5%), (3.0%), (2.0%), (2.5%), (3.5%) et (4.0%) d'épinard.

- la première classe revient à la pâte témoin codée par la lettre A ;
- la deuxième classe revient à celle incorporée à (1,0%) d'épinard codée par la lettre C;
- La classe trois revient à la pâte incorporée un taux de (0,5%) d'épinard codée par la lettre B ;
- les classe quatre, cinq, six et sept reviennent, successivement, aux pâtes incorporées à (1.5%), (3.0%), (2.0%) et (2.5%) d'épinard et codées par les lettres D, G, E et F;
- la pâte incorporée un taux de (3,5%) d'épinard, codée par la lettre H, occupe le 8<sup>ème</sup> rang ;
- et enfin, la neuvième et la dernière classe est revenue à la pâte un taux de (4,0%) d'épinard par la lettre I.

### 2.5.3. Profils sensoriels

Dans cette étude, nous avons suivi une démarche de réalisation des profils sensoriels, représentés dans la figure 14, sur la base de la liste des descripteurs étudié.

Cette figure rassemble les profils sensoriels des différentes pâtes alimentaires concernées par l'analyse sensorielle. Nous constatons que les membres de panel de dégustation perçoivent les paramètres sensoriels.

La zone indiquée dans les series de donnés des profiles sensoriels par la coloration foncée renseigne sur l'intensité des descripteurs étudiés. Une zone très restreinte due à la faible intensité des descripteurs.

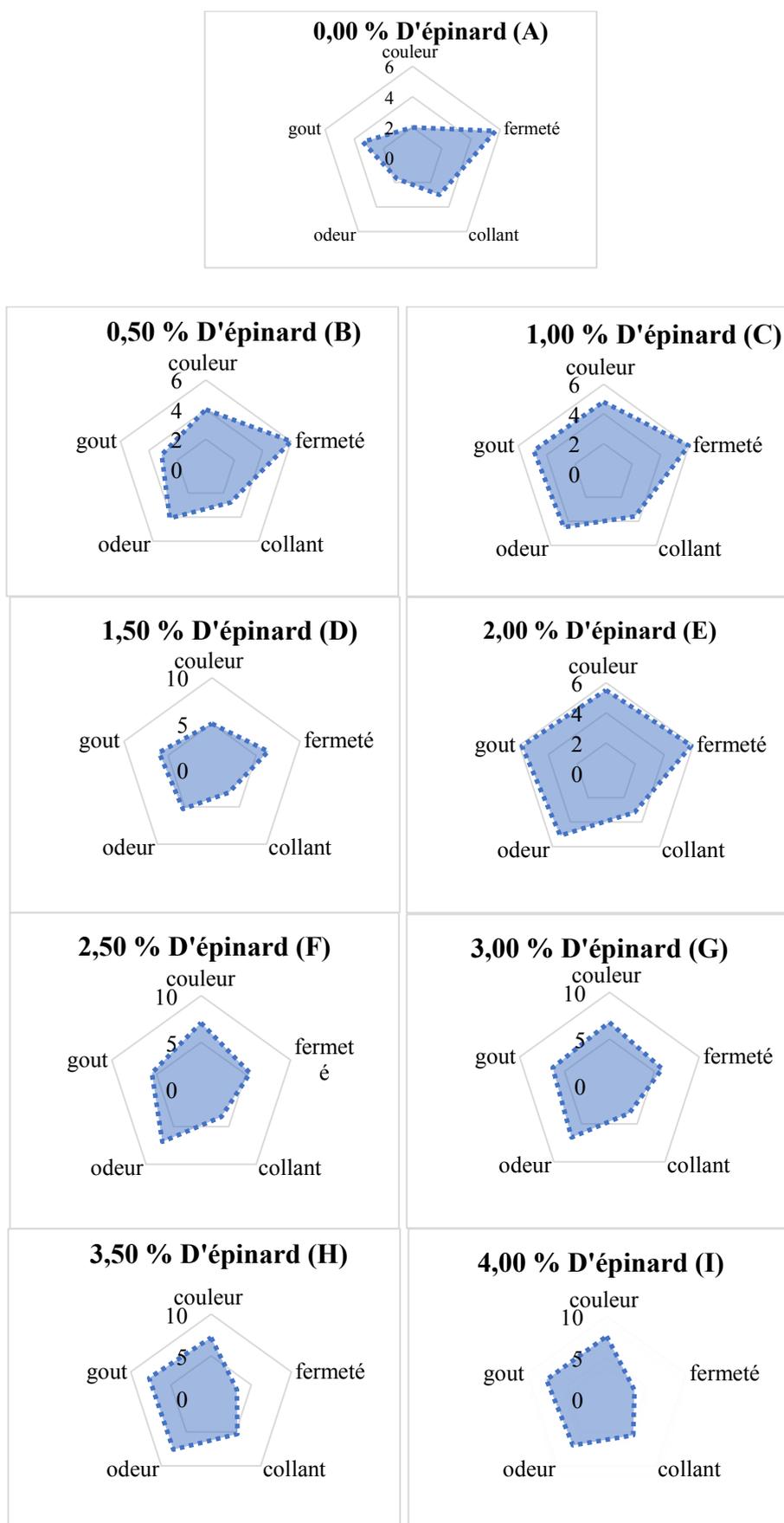


Figure 14. Profils sensoriels des pâtes à différents taux incorporation d'Épinard

*Il y'a lieu de souligner que les membres du panel de dégustation ont pu percevoir les paramètres sensoriels sélectionnées décrivant la couleur, le caractère collant, la fermeté, l'odeur et le goût.*

*Il ressort clairement que la pâte du témoin issue de la semoule de blé dur a le caractère le plus ferme et le moins collant et affichant une intensité plus faible pour la couleur, l'odeur et le goût. Par ailleurs, on a observé que le caractère collant, la couleur, l'odeur et le goût sont proportionnelles aux taux d'épinard incorporé. La fermeté semble dépendre lui aussi du taux d'incorporation d'épinard.*

*Le test de classement par rang, montre à son tour, que les pâtes témoins fabriquées dans le cadre de notre étude sont bien appréciées et mieux notées par les dégustateurs par rapport à celles incorporées d'épinard en raison de leurs bonnes qualités organoleptiques.*

#### **2.5.4. Test de corrélation**

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique statistique permettant de réduire un système complexe de corrélations en un plus petit nombre de dimensions ainsi qu'une visualisation des composantes principales permettant d'identifier les groupes de caractères liés entre eux ou opposés. Plus les variables sont proches les unes des autres à l'intérieur du cercle de corrélation, plus elles sont corrélées positivement entre elles

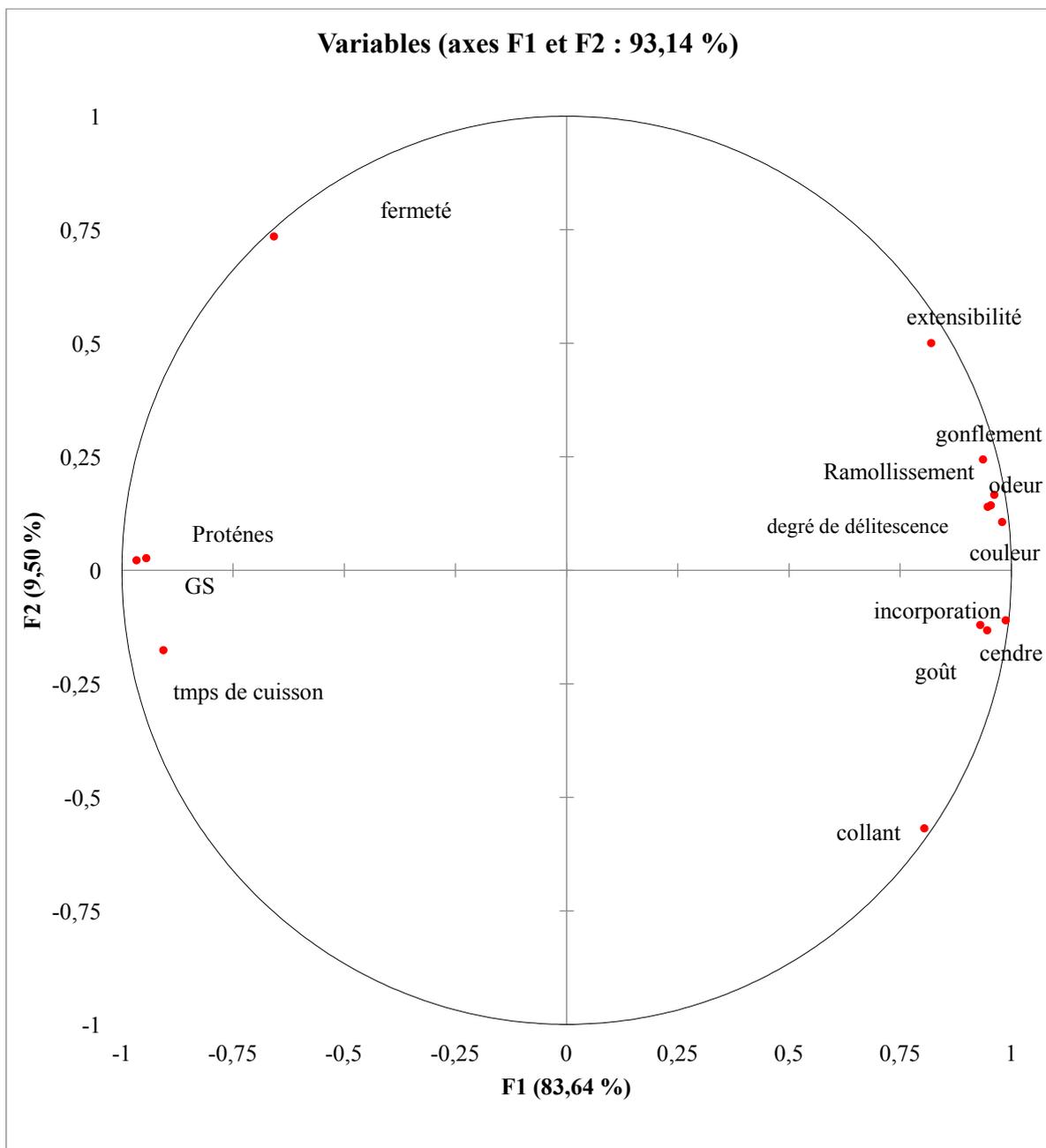
Le but ici est de visualiser la corrélation entre les paramètres chimiques, physiques, culinaires et sensorielles des différentes pâtes avant et après incorporation d'épinard.

L'observation des corrélations entre les différents paramètres étudiés au seuil de 5% (tableau 27) montre que le taux d'incorporation d'épinard dans les pâtes est, d'une part, positivement corrélé avec la teneur en cendre ( $r = + 0,945$ ), le degré de délitescence ( $r = + 0,944$ ), gonflement ( $r = + 0,898$ ), la couleur ( $r = + 0,951$ ), le collant ( $r = + 0,842$ ), l'odeur ( $r = + 0,919$ ) et le goût ( $r = + 0,934$ ). D'autre part, il est négativement corrélé avec la teneur en protéines, ( $r = -0,973$ ), en gluten sec ( $r = -0,958$ ), le temps de cuisson ( $r = - 0,857$ ) et le goût ( $r = - 0,721$ ).

Sur le cercle de corrélation (figure 15), on peut voir que l'axe F1 représente bien les paramètres étudiés. Cet axe a très bien scindé les paramètres précédents de la manière suivante :

- Le taux d'incorporation d'épinard, la couleur, l'odeur ; le goût et le collant sont corrélés positivement entre eux.
- Le taux d'incorporation d'épinard est corrélé positivement aux caractéristiques technologiques du gluten (ramollissement, extensibilité);
- D'une part, les teneurs en protéines et en gluten sec sont fortement corrélées entre elles de façon positive d'autre part, elles sont fortement corrélées négativement aux autres paramètres ;
- La fermeté et le collant sont mal présentés sur ces axes de cercle de corrélation.

Ces observations confirment les résultats trouvés préalablement.



**Figure 16.** Analyse en composantes principales (ACP) des paramètres physico-chimiques, culinaires et sensorielles des différentes pâtes avant et après incorporation d'épinard (avec un seuil de signification de 0,05)



**Tableau 27.** Matrice de corrélation (Pearson (n)) :

Variables	incorporation	endre	Protéines	GS	extensibilité	Ramollissement	temps de cuisson	degré de délitescence	Gonflement	couleur	fermeté	collant	odeur
incorporation	<b>1</b>												
endre	<b>0,945**</b>	<b>1</b>											
Protéines	<b>-0,973**</b>	<b>-0,874**</b>	<b>1</b>										
GS	<b>-0,958**</b>	<b>-0,888**</b>	<b>0,965**</b>	<b>1</b>									
extensibilité	<b>0,730*</b>	<b>0,732*</b>	<b>-0,738*</b>	<b>-0,706*</b>	<b>1</b>								
Ramollissement	<b>0,934**</b>	<b>0,913**</b>	<b>-0,922**</b>	<b>-0,888**</b>	<b>0,894**</b>	<b>1</b>							
temps de cuisson	<b>-0,857**</b>	<b>-0,923**</b>	<b>0,810**</b>	<b>0,836**</b>	<b>-0,861**</b>	<b>-0,883**</b>	<b>1</b>						
degré de délitescence	<b>0,944*</b>	<b>0,840**</b>	<b>-0,961**</b>	<b>-0,913**</b>	<b>0,798**</b>	<b>0,955**</b>	<b>-0,793**</b>	<b>1</b>					
gonflement	<b>0,898**</b>	<b>0,814**</b>	<b>-0,913**</b>	<b>-0,861**</b>	<b>0,860**</b>	<b>0,906**</b>	<b>-0,879**</b>	<b>0,934**</b>	<b>1</b>				
couleur	<b>0,951**</b>	<b>0,897**</b>	<b>-0,942**</b>	<b>-0,944**</b>	<b>0,861**</b>	<b>0,935**</b>	<b>-0,916**</b>	<b>0,919**</b>	<b>0,946**</b>	<b>1</b>			
fermeté	<b>-0,721*</b>	<b>-0,730*</b>	0,631	0,627	-0,209	-0,515	0,484	-0,488	-0,413	-0,576	<b>1</b>		
collant	<b>0,842**</b>	<b>0,833**</b>	<b>-0,769**</b>	<b>-0,741*</b>	0,396	<b>0,669*</b>	-0,650	0,661	0,635	<b>0,734*</b>	<b>-0,949**</b>	<b>1</b>	
odeur	<b>0,919**</b>	<b>0,860**</b>	<b>-0,892**</b>	<b>-0,887**</b>	<b>0,878**</b>	<b>0,915**</b>	<b>-0,890**</b>	<b>0,891**</b>	<b>0,932**</b>	<b>0,982**</b>	-0,548	<b>0,696*</b>	<b>1</b>
goût	<b>0,934**</b>	<b>0,852**</b>	<b>-0,920**</b>	<b>-0,814**</b>	<b>0,701*</b>	<b>0,895**</b>	<b>-0,747*</b>	<b>0,919**</b>	<b>0,884**</b>	<b>0,861**</b>	<b>-0,682*</b>	<b>0,828**</b>	<b>0,848**</b>

\* \*valeurs différentes de 0 à un niveau de signification de 1%

\* valeurs différentes de 0 à un niveau de signification de 5%

**CONCLUSION GENERALE**

**ET**

**PERSPECTIVES**

## CONCLUSION

L'objectif de ce travail s'articule autour de l'incorporation de l'épinard dans la fabrication des pâtes alimentaires type "*Mkartfa*" et la détermination de l'impact de cette incorporation sur la faisabilité technologique, les propriétés culinaires et organoleptiques du produit fini par comparaison à un témoin à base de semoule.

Au cours de cette étude, nous avons atteint un certain nombre d'objectifs que nous avons fixés au début de notre travail.

Les résultats de la caractérisation biochimique et technologique des matières premières montrent que la semoule utilisée pour la fabrication des pâtes est de qualité satisfaisante et nous a permis d'obtenir des pâtes témoins de bonne qualité.

La quantité de matière considérée comestible des épinards (les feuilles) est faible ce qui peut influencer sur le coût.

*Mkartfa* est faisable avec des taux d'incorporation allant jusqu'à 4% m<sub>s</sub> d'épinard frais. L'analyse de la composition biochimique des pâtes obtenues a permis essentiellement de faire ressortir que l'incorporation d'épinard engendre une augmentation progressive des teneurs en cendres (matière minérale) par effet de concentration.

En revanche, la teneur en gluten sec diminue de façon remarquable par effet de dilution des protéines dans ces mélanges. Cela pourrait avoir des conséquences peu satisfaisantes du point de vue qualité des pâtes après cuisson.

Les pâtes incorporées d'épinard demandent plus de travail pendant le pétrissage. Elle présente une certaine dureté à l'étirement qui rend le laminage difficile.

Les pâtes obtenues passent d'une coloration jaune crème, couleur caractéristique de la semoule, à une coloration verte plus en plus intense, ce qui est dû à la richesse d'épinard en chlorophylle.

Les pâtes obtenues présentent des caractéristiques convenables, sans piqures. Après séchage, les pâtes sont fragiles et leur texture superficielle est moins lisse.

L'analyse de la composition de *Mkartfa* témoin est presque la même que celle de la semoule utilisée. L'incorporation d'épinard, jusqu'à 4%, influe la composition physico-chimique de *Mkartfa*, notamment la teneur en protéines et en cendres.

La cuisson de *Mkartfa* fraîche est simple et nécessite un temps de cuisson plus faible que celui de *Mkartfa* sèche. Les pâtes incorporées d'épinard se caractérisent par des temps de cuisson significativement plus court que celles fabriquées sans épinard selon le même diagramme.

Cette différence de temps de cuisson enregistrée entre les pâtes témoins et celles incorporées d'épinards pourrait s'expliquer par la diminution de la quantité du gluten par effet de dilution et de la rupture physique de la matrice du gluten. Ces transformations entraînent par conséquent la formation dans la pâte d'un réseau du gluten plus faible ce qui facilite l'absorption de l'eau et diminue le temps de cuisson.

Les pertes de matière dans l'eau de cuisson augmentent progressivement avec l'augmentation du pourcentage d'épinard incorporé. Cela est dû par l'affaiblissement de réseau protéique

Un bon gonflement des pâtes incorporées d'épinard est enregistré ce qui pourrait être justifié par la richesse d'épinard en pentosanes qui a une tendance à se gonfler en présence d'eau.

Il ressort clairement que *Mkartfa* témoin a le caractère le plus ferme et le moins collant et affichant une intensité plus faible pour la couleur, l'odeur et le goût. Par ailleurs, on a observé que le caractère collant, la couleur, l'odeur et le goût sont proportionnelles aux taux d'épinard incorporé. La fermeté semble dépendre aussi du taux d'incorporation d'épinard.

Le test de classement par rang, montre à son tour, que les pâtes témoins fabriquées dans le cadre de notre étude sont bien appréciées et mieux notées par les dégustateurs par rapport à celles incorporées d'épinard en raison de leurs bonnes qualités organoleptiques. La comparaison entre les autres taux d'incorporation d'épinard fait ressortir que la proportion de 1% d'épinard est mieux appréciée

L'analyse en composantes principales (ACP) montre que certaines caractéristiques sensorielles sont fortement corrélées avec les paramètres physiques, chimiques et culinaires donc l'aspect et la qualité culinaire des pâtes sont influencées par la composition biochimique et l'état physique (granulométrie) des semoules, eux mêmes liés à l'origine histologique des produits.

A terme de ce travail, nous estimons que l'incorporation est possible. La préparation des pâtes aux épinards permet de diversifier le marché local.

### **Perspectives**

Au terme de ce travail, nous proposons :

- De passer à des essais à l'échelle industrielle des pâtes aux épinard ;
- D'affiner la recherche sur la qualité des pâtes incorporés d'épinard en passant à leur caractérisation à l'échelle microscopique et moléculaire ;
- D'élargir cette incorporation à divers produits alimentaires avec ou sans gluten.

**REFERENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographique

- ABECASSIS J., 1991.** La mouture de blé dur. In GODON B. Biotransformation des produits céréaliers. APRIA/INRA. Ed. Lavoisier, Paris, 221 p.
- ABECASSIS J., 1993.** Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. *Industries des céréales* (81), pp.25-37.
- ABECASSIS J., 2011.** Innovations pour améliorer la qualité des productions et des produits céréaliers. *UMR-IATE Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes INRA, CIRAD, SUPAGRO, UM II Montpellier, France.*
- ABECASSIS J., ABOU R., CHAURAND M., MOREL M.H. & VERNOUX P., 1994.** Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature and pressure in the extruder and on pasta quality. *Cereal chemistry*, 71 (3), 247-253.
- ABRAHAM J., 1991.** Sensibilité des vitamines aux agressions physico-chimique. *Cah. Nutr. Diet.*, 25, 1, 15-18.
- ADRIAN J., POTUS J. & FRANGE R., 1995.** La science alimentaire de A à Z. 2<sup>ème</sup> édition. Ed. Lavoisier, Paris, 477 p.
- AFNOR., 1986.** Directive générales pour le dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl. In : Produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits. Ed. Lavoisier-Tec et Doc, Paris, 36-41.
- AFNOR., 1991.** Contrôle de la qualité des produits alimentaires. *Céréales et produits céréaliers. ISBN, 3ème édition, Paris, 360 p.*
- AFNOR., 1995.** Recueil de normes - contrôle de la qualité des produits alimentaires : analyse sensorielle. 5<sup>ème</sup> édition, Paris, 400 p.
- AGRAPHID, MONNET Y., HULLE M., IGHIL E.T. & Robert Y., 1999.** Les pucerons des plantes maraîchères : cycles biologiques et activités de vol. Ed. Quae, 136 p.

- AKTAN B. & KHAN K., 1992.** Effect of high-temperature drying of pasta on quality parameters and on solubility, gel electrophoresis, and reverse-phase high-performance liquid chromatography of protein components. *Cereal Chem.* 69:288-295.
- ALAIS C, LINDEN G. & MICLOT L. ,2003.** Biochimie alimentaire. Ed. MASSON, 245p.
- ALAIS C. & LINDEN G., 1997.** Biochimie alimentaire. ABREGES. 2ème édition, Masson. 254 p.
- AOAC: Révisé par WILLIAM H., GEORGE W. & LATIMER J.R., 2011.** The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence: official Methods of Analysis. *Current through Revision 4.*
- APFELBAUM M., ROMON M. & DUBUS M. (2004).** Diététique et nutrition. Ed. MASSON, Paris, 228 p.
- AUTRAN J.C., ABECASSIS J. & FEILLET P., 1986.** Statistical evaluation of different technological and biochemical tests for quality assessment in durum wheats. *Cereal Chem.*, 63: 390-394.
- BADOUD R., LÖLIGER J., ETOURNAUD A. & BAUER W.J., 2010.** Science et technologie des aliments : principes de chimie des constituants et de technologie des procédés. Ed. PPUR Presses polytechniques, 720p.
- BAHCHACHI N., 2002** Incorporation de gluten de maïs dans la fabrication de deux produits céréaliers traditionnels : Trida et Couscous. Thèse de magister : option biochimique et technologie alimentaire DINATAA. Université Mentouri, Constantine, Algérie. 134 p.
- BAR C., 1995.** Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. *Guide pratique.* ITCF. Paris, 253p.
- BENATALLAH L., 2009.** Couscous et pain sans gluten pour malades cœliaques : aptitudes technologiques de formule à base de riz et de légumes secs. *Thèse de Doctorat en sciences alimentaires.*
- BLECH A., LIN J., NGYEN S., CHAN R., ANDERSON O.D. & DUPONT F. M., 2007.** Transgenic wheats with elevated levels of Dx5 and/or Dy10 high molecular weight glutenin subunits yield doughs with increased mixing strength and tolerance. *Journal of Cereal Science*, 45: 172–183.

- BLOKSMA A.H., 1990 b.** Dough structure, dough rheology and baking quality. *Cereal Foods World*, 35:237-244.
- BORRELLI G.M., DE LEONARDIS A.M., FARES C., PLATANI C. & DI FONZO N., 2003.** Effects of modified processing conditions on oxidative properties of semolina dough and pasta, *Cereal Chemistry* 80 , pp. 225–231.
- BOUDREAU A., MATSUO R. & LAING W., 1992.** L'industrie des pâtes alimentaires, pp : 193-223. In « le blé. Eléments fondamentaux et transformation ». Coordonnateurs : BOUDREAU A. et Menard G., Ed. Les presses de l'Université Laval, Canada, 439 p.
- BOUKEZOULA F., 2003.** Ckekhchoukha, enquête de consommation dans l'est algérien, fabrication traditionnelle et qualité. Thèse de magister, option : nutrition humaine, Constantine, Algérie. 121 p.
- BOULLARD B., 2001.** Plantes Médicinales Du Monde : *Croyances Et Réalités*. Ed. Estem, 636 p.
- BRENNAN C. S., KURI V. & TUDORICA C. M., 2003.** Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *Food Chemistry*, 86(2), 189-193.
- BROSSARD D., HUTIN C. & OTTENS N., 2002.** Mémento fruits & légumes. 6<sup>ème</sup> édition, Ed. Ctifl, 461 p.
- BUSHUK W. (1974).** Glutenin in Function properties and genetics. *The Bakers' Digest*: 22 p.
- CALVEL R., 1984.** La boulangerie moderne. 10<sup>ème</sup> Édition, Ed. EYROLLES, Paris, 460 p.
- CHEFTELE J. C. & CHEFTELE H., 1984.** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Tome I. Ed. Lavoisier, Paris, 381 p.
- CHERIET G., 2000.** Etude de la galette : Différents types, recette et mode de préparation. Thèse Magister. Option : génie industrielle alimentaire D.N.A.T.A.A, Université Mentouri, Constantine, 99 p.
- CHILLO S., LAVERSE J., FALCONE P.M., PROTOPAPA A. & DEL NOBILE M.A., 2008b.** Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. *Journal of science*, 47 (2), 144-152.

- CHUNG O.K., 1986.** Lipid-protein interactions in wheat flour dough, gluten and protein fractions. *Cereal Foods World* 31, 242-256.
- CHUNG O.K., POMERANZ Y., FINNEY K.F. & 1978.** Wheat flour lipids in bread making. *Cereal Chemistry* 55, 598-618.
- COUPLAN F., 2009.** Le régal végétal, plantes sauvages comestibles. Ed. Ellebore, 527 p.
- COUPLAN F., 2012.** Les plantes et leurs noms, histoire insolites. Ed. Quæ, 223 p.
- D’EGIDIO M.G., MARIANI B.M., NARDI S. & NOVARO P., 1993.** Viscoelastograph measures and total organic matter test: Suitability in evaluation of textural characteristics of cooked pasta. *Cereal Chemistry* 70, 67-72.
- DACOSTA Y., 1986.** Le gluten et ses applications. Ed. APRIA, 129 p.
- DAGHER S.M., 1991.** Traitional food in the Near East, FAO, food and nutrition paper 50, Rome, 161p.
- DALBON G., GRIVON D. & PAGANI M.A., 1996.** Pasta: continuous manufacturing process. In: KRUGER J.E., MASTUO R.R., DICK J.W. Pasta and noodle technology (pp.13-58). St Paul, MN, USA: *American Association of cereals chemists*.
- DEXTER J.E. & MASTUO R.R., 1978.** The effect of gluten protein fractions on pasta dough rheology and spaghetti-making quality. *Cereal Chemistry* 55, 44-57.
- DIB A., 2013.** Aptitudes technologiques et culinaires de pâtes alimentaires enrichies au germe de blé. Thèse de magister, option : Technologies Alimentaires, Constantine, Algérie. 116 p.
- DICK J.W. & MATSUO R.R., 1988.** Durum wheat and pasta product, pp: 507-547. In “wheat chemistry and Technology”. Ed. AACC. St.Paul Minnesota.USA.
- DOUMMANJI A., DOUMMANJI S. & DOUMMANJI M.B., 2003.** Technologies de transformation de blé et problèmes dus aux insectes au stock « cours de technologie des céréales ». Ed office des publications universitaires, Alger. Algérie. 67p.
- EDWARDS N.M., IZYDORCZYK M., DEXTER J.E. & BILIADERIS C.G., 1993.** Cooked pasta texture: comparison of dynamic viscoelastic properties to instrumental assessment of firmness. *Cereal Chemistry* 70,122-126.

- EDWARDS N.M., MULVANEY S.J., SCANLON M.G. & DEXTER J.E., 2003.** Role of gluten and its components determining durum semolina dough viscoelastic properties. *Cereal Chemistry* 80,755-763.
- FAO, 1990.** Utilisation des aliments tropicaux-Céréales. Rome, 120 p.
- FAO, 1995 b.** Norme codex pour la semoule et la farine de blé dur, *CODEX STAN 178-1991* p.
- FAO, 1996.** Codex Alimentarius : Céréales, légumes secs, légumineuses, produits dérivés et protéines végétales. *FAO. Vol 7. 2<sup>ème</sup> édition.* Rome, 164 p.
- FARES C., TROCCOLI A. & DI FONZO N., 1995.** Use of friction debranning to evaluate ash distribution in Italian durum wheat cultivars. *Cereal Chemistry*, 73. 232-234.
- FAVIER J.C., RIPERT J., TOQUE C. & FEINBERG M., 1995.** Répertoire général des aliments, table de composition. 2<sup>ème</sup> édition. Ed. Lavoisier, Paris, 897 p.
- FEILLET P., 1986.** L'industrie des pâtes alimentaires : Technologies de fabrication, qualité des produits finis et des maladies premières. *IAA.10* : 979-989.
- FEILLET P., 2000.** Le grain de blé, composition et utilisation. *Institut national de la recherche agronomique, INRA, Paris* : 308 p.
- FEILLET P. & DEXTER J.E., 1996.** Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. In: KRUGER J.E., MASTUO R.R., DICK J.W. *Pasta and Noodle Technology*, ED: AACC, St Paul, Minnesota, pp. 95-131.
- FEINBERG M., FAVIER J.C. & IRLAND-RIPERT J., 1991.** Répertoire général des aliments. INRA/ Cuiqual-Régal/Lavoisier, Paris, 281 p.
- FRANK A., MANTHEY L. S. & ANTON L.S., 2002.** Physical and Cooking Quality of Spaghetti Made from Whole Wheat Durum. *America Association of Cereal Chemists, Inc:* C-0604-01R.
- FREDOT E., 2005.** Connaissances des aliments. Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Ed : Tec et Doc, 397 p.

- GODON B., 1991.** Composition biochimique des céréales : grains d'avoine, blé, mais orge, seigle, triticale, PP 75 – 104 in « les industries de première transformation des céréales » GODON B., WILLMC., TEC & DOC APRIA, paris, 679 p.
- GODON B., 1996.** Protéines végétales. Ed. Lavoisier TEC & DOC Paris, 666 p.
- GODON B. & WILLIAM C., 1997.** Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales », Ed. Lavoisier TEC & DOC Paris, 756 p.
- GODON B. & WILLM C., 1991.** Les industries de première transformation des céréales. *Technique et Documentation –Lavoisier.*
- GODON, G. & LOISEL, W., 1997.** Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales (Collection STAA, 2° Éd), Tec et Doc /Lavoisier, 819p.
- GUEZLANE L. & ABECASSIS J., 1991.** Méthodes d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur. *Ind. Alim. Agr.*, 11: 966-971.
- GUINET R. & GODON B., 1994.** La panification française. Ed. Lavoisier TEC & DOC Paris, 552 p.
- GUPTA K. & WAGLE D.S., 1988.** Nutritional and antinutritional factors of green leafy vegetables. *J. Agric. Food Chem.*, 36, 3, 472-474.
- HAMZA N., 2003.** Crêpe algérienne ,enquête de consommation à Constantine fabrication traditionnelle et qualité, thèse de magister en science alimentaire option nutrition humain INATAA, université des frère Mentouri, Constantine, Algérie, 157 p.
- HOPNER K. & LAMPI B., 1986.** Bioavailability of food folacin as determined by rat liver bioassay. *Nutr. Rep. Int.*, 34, 489-494.
- HUNG P.V., YAMAMORI M. & MORITA N., 2005.** Formation of enzyme-resistant starch in bread as affected by high amylase wheat flours substitutions. *Cereal Chemistry* 82,690-694.
- ISLAM M. N., GENUARIO R.R. & PARRAS-SIRIOS M., 1987.** Nutritional and sensory evaluation of Atriplex triangularis leaves. *Food Chem.*, 25, 279-284;

- JEANTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P. & BRULE G., 2007.** Science des aliments biochimie, microbiologie, procédés et produits. Volume 02. *Technologie des produits alimentaires*. Ed. Lavoisier TEC & DOC Paris, 456 p.
- KIGER J.L. & KIGER J.G, 1967.** Techniques modernes de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielle et artisanale et les produits de régime. *Ed. , DUNO. Paris.* 676 p.
- KRUGER J.E., MASTUO R.R. & DICK J.W., 1996.** Pasta and noodle technology. St. Paul,
- LACOSTE S., 2014.** Ma bible de la phytothérapie : Le guide de référence pour se soigner avec les plantes. Leduc.s Éditions, 648 p.
- LANE R.H., NEGGERS Y.B., BONNER J.L. & STITT K.R., 1986.** Nutrient quality of selected vegetables prepared by conventional and cook-freeze methods. *J.Food Qual.*, 9, 407-414.
- MAPPA D., 2010.** Les productions légumières. Educagri éditions, dijon. 163 p.
- MARCHYLO B.A., DEXTER J.E. & MALCOLMSON L.M., 2004.** Improving the texture of pasta. In: *Texture in Food (Vol 2) Solid Foods*, Woodhend Publishing Ltd., Cambridge, UK, pp 465-500.
- MASTUO R.R. & IRVINE G.N., 1970.** Effect of gluten on the cooking quality of spaghetti. Board of grain commissioners for Canada, Grain Research Laboratory Winnipeg 2, Manitoba.
- MAZOYER M., 2002.** Larousse agricole, le monde paysan au XXI<sup>e</sup> siècle. *Ed. Lavoisier*, Paris, 770 p.
- MESSIAEN C. & MESSIAEN-PAGOTTO F., 2009.** Le potager familial méditerranéen. *Ed. Quae*, 192 p.
- MESTRES C., MATENCIO F., FAURE J., ABECASSIS J., 1989.** Fabrication industrielles de pâtes composées blé-mais. *Céréales en régions chaudes*. AUPELF-UREF, Ed. John Libbey Eurolex, Paris, pp. 337-347.
- MULTON J.L., BIZOT H. & MARTIN G., 1981.** Eau (teneur, activité, absorption, propriétés fonctionnelles). Humidités relatives. In: DEYMIE B., MULTON J.L. et SIMON

- D., Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires. Tome 4. Lavoisier-Tec et Doc, Paris, 1-60.
- MUNRO D. B. & SMALL E., 1998.** Les légumes du Canada. Ed. Nrc Research Press. 436 p.
- NAFIR S., 1995.** Valeur nutritionnel de l'épinard (*Spinacia oleracea*) : effet de deux modes de cuisson. Thèse de magister, option : nutrition appliquée, DINATAA, Université Mentouri, Constantine, Algérie, 141 p.
- NAMOUNE H., 1981** Influence de taux d'extraction sur la composition biochimique des semoules et la qualité des pâtes alimentaire de deux variées de blé dur algériens, Mémoire D'ingénieur agronome, Département de technologie des IAA et de nutrition humaine, Alger, Algérie, 79 p.
- NAMOUNE H., 1989.** Détermination des aptitudes technologiques des principales variétés de blés tendres cultivées en Algérie. Thèse de Magister, INATAA, 109 p.
- NAMOUNE H., 1996.** Panification du blé dur : Mise au point d'un test de panification et aspects variétaux, génétiques, histologiques, technologiques Thèse de Doctorat d'État, Université Mentouri, Constantine, Algérien, 263 p.
- NASEHI B., JOOYANDEH H. & NASEHI R., 2011.** Quality Attributes of Soy-pasta During Storage Period. *Pakistan Journal of Nutrition* 10 (4): 307-312, ISSN 1680-5194.
- NASEHI B., MORTAZAVI S.A., RAZAVI S.M.A., NASIRI MAHALLATI M. & KARIM R., 2009.** Optimization of the extrusion conditions and formulation of spaghetti enriched with full-fat soy flour based on the cooking and color quality. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, Informa UK Ltd 60 (S4) : 205-214.
- NIELSEN M. A., SUMNER A. K. & WHALLEY L. L., 1980.** Fortification of pasta with pea flour and air-classified pea protein concentrate. *Cereal Chemistry*, 57(3), 203-206.
- NYABYENDA P., 2005.** Les plantes cultivées en région tropicales d'altitude d'Afrique. Ed. LES PRESSES AGRONOMIQUES DE GEMBLoux. 225 p.
- OTHMANI MARABOUT Z., 2006.** Pâtes alimentaires traditionnelles algériennes : diagramme de fabrication et de préparation, caractérisation et qualité culinaire. Mémoire d'ingénieur I.N.T.A.A. Université de Constantine. Algérie.

- PETITOT M., 2009.** Pâtes alimentaires enrichies en légumineuse. Structuration des constituants au cours du procédé : impact sur la qualité culinaire et les propriétés nutritionnelles des pâtes. *Thèse de doctorat en sciences agronomiques de Montpellier*. 246 p.
- PETITOT M., ABECASSIS J. & MICARD V., 2009a.** Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity. *Food Science technology* 20. 521-532.
- PETITOT M., BOYER L., MINIER C. & MICARD V., 2010.** Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International* 43. 634–641.
- PETITOT M., BROSSARD C., BARRONA C., LARRE C., MOREL M.H. & MICARD V., 2009c.** Modification of pasta structure induced by high drying temperatures. Effects on the in vitro digestibility of protein and starch fractions and the potential allergenicity of protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 116(2), 401-412.
- POMERANZ Y. (1983).** Molecular approach to breadmaking. An update and new perspectives. *The baker's Digest*, 86 p.
- PORCEDDU E., 1995.** Durum wheat quality in the Mediterranean countries. pp 11-30 in “Durum wheat quality in the Mediterranean region: série A, séminaire Méditerranéens n°22 “ICARDA / CIHEAM / CIMMYT, 248 p.
- PURNIMA C., RAMASARMA P.R. & PRABHASANKAR P., 2011.** Studies on effect of additives on protein profile, microstructure and quality characteristics of pasta. *Association of Food Scientists & Technologists*.
- RAFFIO A., PASQUELONE A., SINESIO F., PALETTI F., QUAGLIA G. & SIMOINE R., 2003.** Influence of durum wheat cultivar on the sensory profile and staling rate of Altamura bread. *European Food Research and technology* 218, 49-55.
- RENAUDIN C., 1951.** La fabrication industrielle de pâtes alimentaires. 2<sup>ème</sup> édition, Ed. *DUNOD*, Paris, 406 p.
- ROUAU X., 1990.** Les polysaccharides pariétaux du grain de blé. Hémicelluloses et pentosanes, INRA, Montpellier, France. 38 p.

- ROUDAUT H. & LEFRANCQ E., 2005.** Alimentation théorique. Ed. Doin, 303 p.
- SELSELET A. & 1991.** Technologie des céréales et produits céréaliers. *Institut de technologie agricole de Mostaganem*, 147 p.
- SHEWRY P.R., 2009.** The Health grain programme opens new opportunities for improving wheat for nutrition and health. *Nutrition Bulletin*, 34(2): 225–231.
- SISSONS M., 2008.** Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food* 2 (2), 75- 90. Global Science Books.
- SISSONS M.J., EGAN N.E. & GIANIBELLI M.C., 2005 b.** New insights into the role of gluten on durum pasta quality using reconstitution method. *Cereal Chemistry* 82, 601-608.
- SISSONS M.J., SOH H.N. & TURNER M.A., 2007.** Role of gluten and its components in influencing durum wheat dough properties and spaghetti cooking quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87, 1874-1885.
- SOH H.N., SISSONS M.J. & TURNER M.A., 2006.** Effect of starch granule size distribution and elevated amylase content on durum dough rheology and spaghetti cooking quality. *Cereal Chemistry* 83,513-519.
- SOUCI S.W., FACHMANN W. & KRAUT H., 1994.** La composition des aliments : Tableaux des valeurs nutritives. *Medpharm Scientific Publishers*, 5ème édition. Stuttgart. Germany 1091p.
- ŠRAMKOVA Z., GREGOVA E. & STURDIK E., 2009.** Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta chimica slovacica*, vol.2, No.1, 115-138.
- SUNG W.C. & STONE M., 2003.** Characterization of various wheat starches in pasta development. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 11, No. 2, pp. 61-69.
- SURGET A. & BARRON C., 2005.** Histologie du grain de blé, *Industrie des céréales* n°145, pp 42.
- TOKORO N., SAWADA M., SUGANUMA Y., MOCHIZUKI M., MASUZAWA K., AOYAMA Y. & ASHIDA K., 1987.** Nitrogen composition of vegetables common to Japan *J. Food Comp. Analy.*, 1, 1, 18-25;

- TREMOLIERE J., SERVILES Y. & JACQOT R., 1984.** Manuel d'alimentation humaine tome 2, les aliments. 9<sup>ème</sup> édition. E.D.E.S.F. Paris, 540 p.
- TRENTESAUX, E., 1995 .** Evaluation de la qualité du blé dur. In: FONZO N. DI (ed.), KAAAN F. (ed.), NACHIT M. (ed.). Durum wheat quality in the Mediterranean region = La qualité du blé dur dans la région méditerranéenne Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 1995. 284 p.
- VIERLING E., 1999.** Alimente et boisson : filière et production. Ed : science des aliments, 271 p.
- WANG M., HAMER R.J., VAN VLIET T., GRUPPEN H., MARSEILLE H. & WEEGELS P.L., 2003.** Effect of Water Unextractable Solids on Gluten Formation and Properties: Mechanistic Considerations. *J.Cereal Sci.*37 (1), pp.55-64.
- WASIK R.J. & BUSHUK W., 1975.** Relation between molecular weight distribution of endosperm proteins and spaghetti making quality. *Cereal Chemistry* 52,322-328.
- WATTS B.M., YLIMAKI G.L., JEFFERY L.E. & ELIAS L.G., 1991.** Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. Ed. Centre de recherches pour le développement international, Amérique, 145 p.
- WRIGLEY C., BRKES F. & BUSHUK W., 2006.** Gliadin and Glueinin: The unique balance of wheat quality (1<sup>st</sup> Ed), *AACC International, MN*, pp 3-32.
- YETTOU N., GHEZLANE L. & OUNANE G., 2000.** Mise au point d'une méthode instrumentale d'évaluation de la délitescence du couscous de blé dur. Symposium blé, enjeux et stratégies. Alger 7-9: 271-276.
- ZHAO Y.H., MANTHEY F.A., CHANG S.K.C., HOU H.J. & YUAN S.H., 2005.** Quality characteristics of spaghetti as affected by green and yellow pea, lentil, and chickpea flours. *Journal of Food Science*, 70 (6), S 371-S 376.
- ZWEIFEL C., HANDSCHIN S., ESCHER F. & COND-PETIT B., 2003.** Influence if high temperature drying on structural and textural properties of durum wheat pasta. *Cereal Chemistry*: 80 (2), 159-167.

## Abstract

The aim of this work is the incorporation of spinach in a kind of traditional pasta “*Mkartfa*” and determination of the impact of the incorporation on technological feasibility, culinary and organoleptic properties of the finished product.

The raw materials are characterized by physico-chemical and technological analysis. *Mkartfa* made before and after incorporation of spinach, are characterized by physico-chemical analysis, culinary tests and sensory evaluation.

The formulas of pasta are based on the incorporation of variable quantities of fresh spinach to semolina.

The incorporation of 4% of spinach to semolina generates a good technological feasibility of pasta, an increase in the ash content from 1.03% to 1.38% and a decrease of the dry gluten from 10.87% to 9.78% by protein's dilution in the mixtures. This may influence the formation of the protein network and therefore the quality of the products obtained.

On the other hand, the incorporation of spinach cause a reduction of cooking time and an increase in cooking loss (degree of disintegration) due to the decrease in the gluten's amount and physical disruption of the gluten matrix.

Good swelling of the pasta has been recorded for dry and fresh pasta. Pentosanes promote the swelling properties and the water absorption capacity.

Sensory analyzes showed the existence of significant differences between the different pasta before and after incorporation of spinach. The tasters were able to perceive an increase in flavor and color intensity and a decrease in the firmness intensity of cooked *Mkartfa*. Witness's pasta is best appreciated. The proportion of 1% spinach seems the most acceptable with respect to other levels of spinach's incorporation.

The principal component analysis shows that some sensory characteristics are strongly correlated with physico-chemical and culinary parameters including protein and ash, the cooking time, the swelling and cooking loss (degree of disintegration). It also shows correlation with the increase in the incorporation of spinach in *Mkartfa*.

**Key words:** traditionnel pasta, *Mkartfa*; spinach; pentosanes; proteins; culinary characterization; swelling; degree of disintegration; Sensory analyzes.

## Résumé

L'objectif de ce travail s'articule autour de l'incorporation de l'épinard dans la fabrication de pâtes alimentaires type "*Mkartfa*" et la détermination de l'impact de cette incorporation sur la faisabilité technologique, les propriétés culinaires et organoleptiques du produit fini par comparaison à un témoin à base de semoule.

Les matières premières sont soumises à des analyses physicochimiques et technologiques. Les pâtes obtenues, avant et après incorporation d'épinard, sont caractérisées par des analyses physico-chimiques, des tests culinaires et une évaluation sensorielle.

Pour la fabrication de la pâte, les formules sont réalisées par l'incorporation de quantités variables en épinard frais à la semoule.

L'incorporation d'épinard jusqu'à 4% à la semoule entraîne une bonne faisabilité technologique des pâtes, une augmentation de la teneur en cendres de 1,03% m<sub>s</sub> à 1,38% m<sub>s</sub> et une diminution de la teneur en gluten sec de 10,87% à 9,78% par effet de dilution des protéines dans les mélanges. Ce qui pourrait influencer la formation de réseau protéique et par conséquent la qualité des produits obtenus.

D'autre part, l'incorporation d'épinard se traduit par une diminution des temps de cuisson et une augmentation de degré de délitescence dus à la diminution de la quantité du gluten et de la rupture physique de la matrice du gluten. Ces transformations entraînent la formation dans la pâte d'un réseau du gluten plus faible

Un bon gonflement est enregistré, pour les pâtes sèches et fraîches. Les pentosanes favorisent les propriétés de gonflement et la capacité d'absorption d'eau.

Les analyses sensorielles ont montré l'existence d'une différence significative entre les différentes pâtes avant et après l'incorporation d'épinard. Les dégustateurs ont pu percevoir une augmentation de l'intensité de couleur, de goût, du collant et une diminution de l'intensité de la fermeté de *Mkartfa* cuite. Les pâtes témoins sont les mieux appréciées. La proportion de 1% d'épinard semble la plus acceptable par rapport aux autres taux d'incorporation d'épinard.

L'analyse en composantes principales (ACP) montre que certaines caractéristiques sensorielles sont fortement corrélées avec les paramètres physico-chimiques et culinaires notamment la teneur en protéines et en cendres, le temps de cuisson, le gonflement et le degré de délitescence. Elle montre aussi leur corrélation avec l'augmentation du taux d'incorporations d'épinard dans *Mkartfa*.

**Mots clés :** pâtes alimentaires traditionnelles ; *Mkartfa* ; épinard ; pentosanes ; protéines ; caractérisation culinaire ; gonflement ; degré délitescence ; paramètres sensorielles.