

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA

FACULTE DES SCIENCES AGRO-BIOLOGIQUES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE  
L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADEMIQUE  
EN SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE

**Filière** : Sciences Alimentaires.

**Option** : Nutrition et contrôle des aliments



**Thème:**

**Essai de fabrication de couscous anti – sprue  
incorporé de Spiruline**

Présentée par:

M<sup>elle</sup> FERROUGA Saida

Devant le jury composé de :

|                              |            |      |                |
|------------------------------|------------|------|----------------|
| M <sup>me</sup> ACHEHAB H.   | MCB        | USDB | Présidente     |
| M <sup>me</sup> DOUMANDJI.A  | MCA        | USDB | Promotrice     |
| M <sup>elle</sup> RABZANI F. | Doctorante | USDB | Co- Promotrice |
| M <sup>elle</sup> FERNANE S. | MAA        | USDB | Examinatrice   |
| M <sup>r</sup> BOUSBIA N.    | MCB        | USDB | Examineur      |

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2012 - 2013

# Remerciements

Avant toute chose, je remercie Dieu le tout puissant, le clément, pour qui ma donné le courage, la patience et la santé pour accomplir ce modeste travail ;

Vifs remerciements et profonde gratitude vont particulièrement à :

- ✓ Mon enseignante et Directeur de mémoire, Madame DOUMINDJI A., maitre de conférence à l'université de Blida et à Melle REBZANI F. Doctorante, pour leurs encadrements , le temps qu'elles mon consacré ,pour leurs esprit scientifique, leurs orientations et conseils ; tout au long de la réalisation de ce travail.
- ✓ A M<sup>me</sup> ACHEHAB H. qui ma a honorés de sa présidence, et aux examinateurs M<sup>elle</sup> FERNANE S. et Mr BOUSBIA N. qui ont pris la peine d'examiner ce modeste travail

Je tiens également à exprimer ma plus vive reconnaissance à Mr S. RAMDANE pour son aide et son soutien moral

Je ne peu passer sous silence l'aimable collaboration :

- ✓ De M<sup>me</sup> HOUBEN FERROUGA F. Pour son excellente collaboration à la réalisation de fabrications des couscous.
- ✓ Et de Monsieur Mr RABII Rafik responsable de laboratoire de qualité au niveau de SIM pour son aide précieuse

Un grand merci aussi aux responsables des organismes d'accueil INSFP IAA ,SIM ,ONAB,CFPA pour leur générosité et grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Et finalement pour tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

# Dédicace

« اللهم علمنا ما ينفعنا و أنفعنا بما علمتنا وزدنا علما وعملا »

*Avec toute sincérité et amour, Je Dédie ce modeste Travail:*

*Aux malades cœliaques en Algérie*

*A la mémoire de mon Grand Père OMARE*

*A mes parents, Pour tous leur sacrifices, leur encouragements*

*A mon oncle YAHIA Rachid, ma sœur Djamila et mon amie Nassima Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter.*

إلى كل من علمني حرفا نافعا

Ferrouga Saida



## Résumé

En Algérie, les malades coeliaques se plaignent d'un manque d'aliment de consommation courante mais ne contenant pas de gluten. Ce travail a pour objectif principal la fabrication de couscous sans gluten à base de riz et enrichir sa valeur nutritionnelle par l'incorporation de pois chiche et de spiruline ; six formules ont été fabriquées : couscous de riz (CR), Couscous de riz et de pois chiche (CR/PC), couscous de riz enrichi à la spiruline à une dose de 1% et 0,5% (CR/Sp1%, CR/Sp0,5%) et couscous de riz et de pois chiche enrichi à la spiruline à une dose de 1% et 0,5% (CR/PC/Sp1%, CR/PC/Sp0,5%)

Un procédé traditionnel a été adopté pour la réalisation de ces couscous,

Pour les six formules on a obtenu un rendement considérable mais inégalement répartie entre les différentes formules, le rendement le plus élevé 91,33% a été noté pour le CR/PC. Les six formules ont tendance à donner des couscous de granulométrie homogène et une masse volumique comparable au couscous de semoule de blé.

Pour la qualité culinaire, les couscous incorporés de semoule de pois chiche absorbent l'eau de la même manière et un peu moins (IG = 96,66%) par rapport au couscous de riz sans ou avec spiruline (IG = 100%). La délitescence de CR présente la valeur la plus élevée 8,65% alors que les couscous incorporés de semoule de pois chiche et de spiruline présentent des valeurs plus faibles et en corrélation positive avec l'augmentation de taux de spiruline.

L'effet de l'addition du pois chiche et de spiruline sur la composition globale de couscous de riz, a été étudié et démontre que la complémentarité par le pois chiche et la spiruline améliore considérablement la valeur nutritionnelle et énergétique surtout pour la formule CR/PC/Sp1% où on a enregistré une valeur de (372,03 kcal). Le couscous R/PC cuit a été classé premier en ce qui concerne la délitescence, le collant, la couleur et la fermeté alors que l'ajout de la spiruline à cette formule diminue l'acceptabilité sur le plan couleur et odeur.

**Mots clés :** maladie coeliaque, couscous, riz, pois chiche, spiruline, qualité nutritionnelle, qualité organoleptique.

## ملخص

في الجزائر, مرضى عدم تحمل الغلوتين يعانون من نقص في المواد الواسعة الاستهلاك الخالية من الغلوتين. إن الهدف الرئيسي لهذا العمل يتمثل في صنع كسكس خال من الغلوتين انطلاقا من الأرز كتركيبة أساسية مع إضافة الحمص والسيبرولين وهذا لتحسين النوعية الغذائية للكسكس, سنته صيغ قد تمت صياغتها وهي : كسكس الأرز, كسكس الأرز بالحمص, كسكس الأرز بالسيبرولين بكمية (1% و0,5%) كسكس الأرز بالحمص والسيبرولين بكمية (1% و0,5%) الطريقة المعتمدة في صنع الكسكس هي طريقة تقليدية من خلال النتائج المحصل عليها الصيغة المرودود كان معتبرا بالنسبة لكل الصيغ ولكن الصيغة أعطت (CR /PC) أعطت المرودود الأعلى 91, 33 % حبيبات الكسكس المتحصل عليها متماثلة ومتجانسة والكتلة الحجمية المتحصل عليها مع الست صيغ مماثلة للكتلة الحجمية لكسكس القمح.

فيما يخص الخصائص الطبخية للكسكس سجلنا أعلى درجة انتفاخ الكسكس مع صيغ الأرز مع أو بدون سيبرولين (IG =100%) بينما الصيغ التي ادخل في تركيبها الحمص تمتص الماء بصفه متساوية وبدرجة أقل (IG =96,66%) . بالنسبة لدرجة التفكك سجلنا أعلى قيمة مع كسكس الأرز 8,65% بينما ادخال سميد الحمص او السيبرولين ينقص درجة التفكك ويتناسب طرديا مع تزايد نسبة السيبرولين . القيمة الغذائية والطاقوية للكسكس قد تحسنت بشكل ملحوظ على أثر الإضافات المدروسة حيث أننا سجلنا أعلى قيمة طاقوية مع صيغة (CR/PC / Sp1% ) (372,03 كيلو حريره) . معايرة أنواع الكسكس الستة عن طريق لجنة التذوق أعطى لكسكس (CR /PC) مرتبة متقدمة فيما يخص التفكك أثناء الطبخ, التكتل, التماسك واللون بينما إدخال السيبرولين على نفس الصيغة ينقص من درجة القابلية خاصة على مستوى اللون والرائحة وفقا للنقاط المتحصل عليها .

**الكلمات الدالة:** مرضى عدم تحمل الغلوتين, الكسكس, الأرز, الحمص السيبرولين, النوعية الغذائية والحسية .

## **ABSTRACT**

In Algeria, celiac patients complain from the lack of gluten-free foods in our daily foods. The main objective of this work is to manufacture the couscous “gluten – free” based of rice and enrich its nutritional value by the incorporation of chickpea and spirulina , six formulations were made of : couscous of rice (CR), couscous of rice and chickpea ( CR / PC) , couscous of rice enriched with spirulina at a dose of 1% and 0,5% ( CR / Sp1 %, CR / Sp 0.5%) and couscous of rice and chickpea enriched with spirulina at a dose of 1 % and 0.5 % (CR / PC / Sp 1 % ,CR / CB / PS 0.5 % )

A traditional procedure was adopted for the realization of this kind of couscous. The six formulas yield a considerable return ,but unevenly distributed between different formulas .The highest yield 91.33% was noted for the CR / PC . The six formulas tend to give couscous homogeneous grain size and density similar to couscous semolina.

To obtain culinary quality , the couscous incorporated by semolina of chickpea absorbs water in the same way and a little less (GI = 96.66 % ) compared to couscous of rice without spirulina (GI = 100%). The disintegration of CR has the highest value 8.65 % ,whereas the couscous made of chickpea and spirulina gives the lowest values and a positive correlation with the increase rate value of spirulina .

There was a study about the effect of the addition of chickpea and spirulina on the global composition couscous of rice, this study shows that the supplimentatritry of Chickpea and spirulina greatly improves the nutritional and energetic value. The couscous R/PC cooked was ranked first in term of disintegration, the sticky, color and firmness while adding the spirulina, this formula reduces the acceptability in term of color and the smell.

**Keywords:** celiac disease, couscous, rice , chickpeas, spirulina, quality nutritional quality culinary ,organoleptic quality.

# SOMMAIRE

|   |    |
|---|----|
| Remerciement  |    |
| Dédicaces   |    |
| Résumé  |    |
| Liste des abréviations  |    |
| Liste des figures   |    |
| Liste des tableaux  |    |
| Liste des annexes   |    |
| Introduction.....   | 1  |
| Partie I : Etude Bibliographique .....  | 3  |
| I. La spiruline.....  | 3  |
| 1-Historique .....  | 3  |
| 2-Répartition géographique.....   | 4  |
| 3-Taxonomie.....  | 6  |
| 4- Morphologie et caractères généraux.....  | 6  |
| 5-Composition chimique et valeur nutritionnelle de la Spiruline.....              | 7  |
| 5-1-Proteine.....   | 8  |
| 5-2-Lipides.....  | 10 |
| 5-3-Glucides .....  | 11 |
| 5-4-Acides Nucléiques.....  | 12 |
| 5-5- Vitamines.....   | 13 |
| 5-6- Minéraux et Oligoéléments : .....  | 15 |
| 5-7-Phytonutriments et enzymes.....   | 17 |
| 5-7-1- Caroténoïdes naturels.....   | 17 |
| 5-7-2- <i>Chlorophylle a</i> .....  | 17 |
| 5-7-3-Phycocyanine.....   | 17 |
| 5-7-4-Superoxydedismutase.....  | 18 |
| 6-Microflore associée aux milieux de cultures et aux préparations de spiruline... | 18 |
| 7-Acceptabilité, Formulation.....   | 18 |
| 7-1 Acceptabilité alimentaire.....  | 18 |
| 7-2-Formulations alimentaires.....  | 19 |
| 8-Différents secteurs d'activité utilisant la spiruline.....                      | 19 |
| 8-1-Industrie agroalimentaire.....  | 19 |
| 8-1-1-Complément alimentaire.....   | 19 |
| 8-1-2 -Colorant alimentaire.....  | 20 |
| 8-2-Industrie cosmétique .....  | 20 |
| 8-3-Médecine.....   | 21 |
| 8-3.1- Diagnostic biologique.....   | 21 |
| 8-3-2-Aspect thérapeutique.....   | 21 |
| 8-3-3- Recherche génétique.....   | 21 |
| 9-Propriétés thérapeutiques la spiruline sur la santé .....                       | 22 |
| II. Maladie cœliaque.....   | 24 |
| 1-Définition de la maladie cœliaque .....   | 24 |
| 2-Facteurs d'apparition .....   | 24 |
| 3-Signes cliniques de la maladie cœliaque.....                                    | 25 |
| 4-Maladies concomitantes possibles .....  | 25 |
| 5-Traitement de la maladie.....   | 26 |
| 6 -Prévalence dans le monde .....   | 27 |

|  |    |
|--|----|
| I. Epidémiologie en algérie.....                                   | 27 |
| III. Le couscous.....  | 28 |
| 1-Etymologie du mot couscous.....                                  | 28 |
| 2-Définition du couscous.....                                      | 28 |
| 3 -Mode de fabrication .....                                       | 28 |
| 3-1-Procédé industriel .....                                       | 29 |
| 3-2-La fabrication artisanale.....                                 | 29 |
| 3-2-1-Précuisson de la semoule .....                               | 30 |
| 3-2-2-Roulage.....   | 30 |
| 3-2-3-Précuisson du couscous.....                                  | 31 |
| 3-2-4-Séchage.....   | 31 |
| 4-Qualité du couscous.....   | 32 |
| 4-1-Qualité nutritionnelle.....                                    | 32 |
| 4-2-Qualité hygiénique.....  | 32 |
| 4-3-Qualité organoleptique.....                                    | 32 |
| 4-3-1-La qualité commerciale.....                                  | 32 |
| 4-3-1-La qualité culinaire .....                                   | 33 |
| IV. Le riz .....   | 34 |
| 1-Origine et extension du riz .....                                | 34 |
| 2-Description de grain de riz .....                                | 34 |
| 3-Structure de grain de riz .....                                  | 35 |
| 4- Classification du riz en fonction de la taille des grains ..... | 36 |
| 5-Traitement du riz.....   | 37 |
| 5-1- Usinage .....   | 37 |
| 5-2- Étuvage du riz.....   | 37 |
| 6-Composition biochimique du riz .....                             | 38 |
| 6-1-Amidon .....   | 38 |
| 6-2- Autres constituants glucidiques.....                          | 38 |
| 6-3-Protéines.....   | 39 |
| 6-4 -Lipide.....   | 39 |
| 7-Valeur nutritionnelle du riz.....                                | 40 |
| 8-Les secteurs d'utilisation de riz .....                          | 40 |
| V. Le Pois chiche.....   | 42 |
| 1-Origine et répartition géographique.....                         | 42 |
| 2-Place du pois chiche en Algérie.....                             | 42 |
| 3-Classification.....  | 42 |
| 4-Valeur nutritionnelle.....                                       | 43 |
| VI. Supplémentation Céréales / Légumes Secs / Spiruline.....       | 46 |
| <br>Partie 2 : Etude Expérimentale.....                            |    |
| Matériel et Méthodes.....  | 47 |
| 1-Matières premières : présentation .....                          | 47 |
| 2-Préparation des matières premières pour la fabrication.....      | 48 |
| 3-Matériels utilisé dans la fabrication du couscous.....           | 50 |
| 4-Caractérisation physico-chimique des matières premières.....     | 51 |
| 4-1-Granulométrie .....  | 51 |
| 4-2-Taux d'humidité.....   | 52 |
| 4-3-Dosage des cendres.....  | 52 |
| 4-4-Dosage des protéines .....                                     | 53 |
| 4-5-Dosage des lipides libres.....                                 | 54 |



|   |    |
|---|----|
| 4-6-Dosage de l'amidon.....   | 54 |
| 4-7-Dosage des sucres totaux.....   | 55 |
| 5 -Formules du couscous .....   | 55 |
| 6- Fabrication du couscous.....   | 56 |
| 6-1-Les étapes du diagramme de fabrication.....   | 57 |
| 6-1-2-Etape de grenaison.....   | 57 |
| 6-1-3-Etape de mise en forme.....   | 57 |
| 6-1-4- Etape de finition.....   | 57 |
| 6-1-5-Précuisson et calibrage du couscous humide.....                                       | 58 |
| 6-1-6-Emottage et calibrage.....  | 59 |
| 6-1-7-Séchage du couscous.....  | 59 |
| 7-Appréciation de la qualité du couscous sec.....   | 66 |
| 7-1-Détermination du rendement.....   | 66 |
| 7-2-Granulométrie.....  | 67 |
| 7-3-Masse volumique.....  | 67 |
| 8- Qualité culinaire.....   | 67 |
| 8-1 Gonflement.....   | 67 |
| 8-2 Degré de délitescence.....  | 67 |
| 8-2-1 Préparation des échantillons.....   | 68 |
| 8-2-2 Evaluation du degré de délitescence du couscous cuit.....                             | 68 |
| 8-3-Test de cuisson (ABECASSIS, 1987) .....   | 68 |
| 8-4-Détermination des paramètres de cuisson des couscous.....                               | 68 |
| 8-4-1 Détermination de la capacité d'hydratation.....                                       | 70 |
| 8-4-2 Détermination du temps de cuisson.....  | 70 |
| 9-Composition biochimique de couscous.....  | 71 |
| 10-Qualité nutritionnelle du couscous .....   | 71 |
| 11-Evaluation sensorielle des couscous cuits.....   | 72 |
|   | 74 |
| Résultats et discussions.....   |    |
| 1-Caractéristiques dimensionnelles des grains utilisées.....                                | 74 |
| 2-Caractéristiques physico-chimiques des différentes matières premières.....                | 74 |
| 2-1-Granulométrie.....  | 74 |
| 2-2-Composition biochimique des matières premières (Semoule de riz et de pois chiche) ..... | 75 |
| 3- Qualité des couscous fabriqués.....  | 77 |
| 3-1- Bilan de rendement .....   | 77 |
| 3-2-Granulométrie.....  | 79 |
| 3-3-La masse volumique.....   | 80 |
| 3-4-Qualité culinaire.....  | 81 |
| 3-4-1-Gonflement à froid et à chaud du couscous.....  | 81 |
| 3-4-2-Degrés de délitescence.....   | 83 |
| 3-4-3-Test de cuisson.....  | 84 |
| 3-4-4-Capacité d'absorption .....   | 85 |
| 3-4-5-Temps de cuisson.....   | 86 |
| 3-5- Composition biochimique de différentes formules de couscous .....                      | 88 |
| ✓ La teneur en eau .....  | 89 |
| ✓ Amidon et Sucres totaux .....   | 89 |
| ✓ La teneur en protéines.....   | 89 |
| ✓ La teneur en cendres.....   | 90 |

|   |    |
|---|----|
| ✓ Les lipides.....  | 90 |
| 3-6-Qualité nutritionnelle du couscous .....              | 91 |
| 3-7-Caractéristiques sensorielles des couscous cuits..... | 93 |
| ✓ la délitescence.....                                    | 94 |
| ✓ La couleur .....  | 95 |
| ✓ Le collant .....  | 95 |
| ✓ La fermeté .....  | 95 |
| ✓ L'odeur .....   | 96 |
| Conclusion .....  | 97 |
| Références bibliographiques                               |    |
| Annexes   |    |

## Liste d'abréviation

CA :Capacité d'hydratation  
CFPA : Centre de formation professionnel et d'apprentissage  
CR /PC/Sp 0,5% :Couscous de riz et de pois chiche enrichi à 0,5% de spiruline  
CR /PC/Sp1% :Couscous de riz et de pois chiche enrichi à 1% de spiruline  
CR /Sp 0,5% :Couscous riz enrichi à 0 ,5 % de spiruline  
CR /Sp1% :Couscous riz enrichi à 1% de spiruline  
CR :Couscous de riz  
CR/ PC Couscous de riz et de pois chiche  
CUD :Coefficient d'Utilisation Digestive  
DD :Degré de Délitescence  
ES : Extrait Sec  
G :Gonflement  
H : teneur en eau  
INSFP -IAA: Institut National Spécialisé de la Formation professionnelle dans les Industries Agro- Alimentaire  
IPMT :Indice de Prise en Masse par Tamisage  
IRRI : Institut international de recherche sur le riz  
Kcal: Kilos calories.  
H: Humidité  
n : nombre de répétition  
NF :Norme Française.  
NT : Azote Total  
OAIC :Office Algérien Interprofessionnel des Céréales  
ONAB :Office National de l'Alimentation de Bétail  
PS :pois sec  
R : Rendement  
SIM : Semoulerie Industrielle de la Mitidja  
TK : Tamis Kherredj  
TKe : Tamis Kessar ettoube  
TR : Tamis Reffad  
TT : Tamis Takida  
VIH : *virus de l'immunodéficience humaine*

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 01</b> : Différentes formes prises par la Spiruline.....   | 07 |
| <b>Figure 02</b> : Filaments des deux espèces de spiruline observés au microscope optique.....   | 07 |
| <b>Figure 03</b> : le symbole sans gluten.....   | 26 |
| <b>Figure 04</b> : Section longitudinale du grain de riz .....   | 35 |
| <b>Figure 05</b> : Coupe d'un grain de riz paddy.....  | 36 |
| <b>Figure 06</b> : Schéma les secteurs d'utilisation de riz.....   | 41 |
| <b>Figure 07</b> : Echantillons des matières première utilisé.....   | 48 |
| <b>Figure 08</b> : Mesure de dimension de riz et pois chiche par le pied à coulisse .....  | 49 |
| <b>Figure 09</b> : semoule de riz et semoule de pois chiche .....  | 49 |
| <b>Figure 10</b> : Matériel de fabrication artisanale de couscous .....  | 51 |
| <b>Figure 11</b> : Diagramme traditionnel adopté pour le couscous.....   | 60 |
| <b>Figure 12</b> : Etape de la grenaison.....  | 61 |
| <b>Figure 13</b> : Etape de mise en forme.....   | 62 |
| <b>Figure 14</b> : Etape de finition.....  | 63 |
| <b>Figure 15</b> : Différentes types de couscous humide .....  | 64 |
| <b>Figure 16</b> : Etape de pré cuisson et calibrage.....  | 65 |
| <b>Figure 17</b> : Séchage de couscous .....   | 66 |
| <b>Figure 18</b> : photo de couscoussier pour test de cuisson.....   | 69 |
| <b>Figure 19</b> : Diagramme de cuisson du couscous.....   | 70 |
| <b>Figure 20</b> : formulaire de réponse pour évaluation sensorielle.....  | 73 |
| <b>Figure 21</b> : Granulométrie de semoules utilisées dans la fabrication des couscous en pourcentage massique.....                   | 74 |
| <b>Figure 22</b> : Composition biochimique des matières premières par 100g de matière sèche.....                                       | 75 |
| <b>Figure 23</b> : Pourcentage des particules de différentes formules de couscous cumulées en fonction des ouvertures des mailles..... | 79 |
| <b>Figure 24</b> : représentation de la masse volumique de différentes formules de couscous.....                                       | 80 |
| <b>Figure 25</b> : Cinétiques de gonflement de différentes formules couscous à 25°C.....   | 81 |
| <b>Figure 26</b> : Cinétiques de gonflement de différentes formules couscous à 100°C.....  | 82 |
| <b>Figure 27</b> : Degré de délitescence des différents échantillons de couscous (%).....  | 83 |
| <b>Figure 28</b> : poids de couscous après cuisson.....  | 84 |
| <b>Figure 29</b> : capacités d'absorption des couscous fabriqués p.100g de couscous sec... ..  | 85 |
| <b>Figure 30</b> : Indice de Prise en Masse (IPMT) de différentes formules de couscous.....  | 87 |
| <b>Figure 31</b> : Composition biochimique de différentes formules de couscous par 100g de matière sèche.....                          | 88 |
| <b>Figure 32</b> : Valeur énergétique des différentes formules de couscous.....  | 92 |
| <b>Figure 33</b> : Evaluation sensorielle des couscous cuits.....  | 94 |
| <b>Figure 34</b> : Différentes types de couscous cuit .....  | 96 |
| <b>Figure 35</b> : Epreuve de l'analyse sensorielle.....   | 96 |

## Liste des Tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 01</b> : Sites géographiques où pousse naturellement la spiruline .....  | 05 |
| <b>Tableau 02</b> : Teneur de la spiruline « Flament vert » en acide aminés.....  | 09 |
| <b>Tableau 03</b> : Profil typique des acides gras d' <i>Astthrospira sp.</i> .....   | 10 |
| <b>Tableau 04</b> : teneur en acide nucléique de quelques aliments .....  | 13 |
| <b>Tableau 05</b> : Vitamines hydrosolubles contenues dans la biomasse de <i>Spirulina platensis</i> en fonction des saisons (mg / 100gr de matière sèche)..... | 14 |
| <b>Tableau06</b> : Vitamine liposoluble contenue dans la biomasse de <i>Spirulina platensis</i> en fonction des saisons (mg / 100gr de matière sèche).....      | 14 |
| <b>Tableau 07</b> : Composition en minéraux de la Spiruline cultivée en µg/g de sa matière sèche.....   | 15 |
| <b>Tableau 08</b> : Composition approximative du paddy et de ses fractions d'usinage à 14% d'humidité.....  | 38 |
| <b>Tableau09</b> : La composition des grains mure crues de pois chiche, par 100g de partie comestible.....  | 44 |
| <b>Tableau 10</b> : La composition en acides aminés essentiels, et en acides gras essentiels par 100g de partie comestible.....                                 | 45 |
| <b>Tableau 11</b> : Bilan de fabrication des couscous de différentes formules.....  | 77 |
| <b>Tableau 12</b> : Détermination de la valeur énergétique de différentes formules de couscous .....  | 91 |

## Liste des annexes

**Annexes I** : Carte de présentation de la zone de croissance naturelle privilégiée de la spiruline

**Annexes II** : Dimensions des grains des brisures et des fragments Norme Béninoise

**Annexes III** : Matière première utilisée

**Annexes IV** : Etapes de roulage pour différentes formules de couscous

**Annexes V** : Appareillages et Réactifs utilisés

**Annexes VI** : dégustation de couscous

**Annexes VI**: Présentation des unités

## Introduction

La maladie cœliaque également appelée sprue et entéropathie au gluten est une intolérance à l'une des protéines du gluten (la gliadine) (APFELBAUM et PERLEMUTTER *et al* 1981 ; AEPLI et CRIBLEZ ,2011). C'est une maladie d'ordre immunitaire qui atteint la muqueuse intestinale, les symptômes peuvent être : diarrhée chronique, hypotrophie, perte de poids, vomissement etc. (AEPLI et CRIBLEZ ,2011). Cette maladie est très fréquente en Afrique du nord étant donné que l'alimentation de base de la population de cette région est le blé riche en gluten. En revanche, en Afrique noire et en Asie, elle est exceptionnelle puisque pour ces populations le riz qui ne contient pas de gluten remplace le blé (SCHMITZ et CELLIER, 2002 *in* BOUCHEHAM, 2009 ). La maladie cœliaque peut se déclarer aussi bien chez les enfants que chez les adultes et, jusqu'à nos jours, le seul traitement possible est l'éviction stricte et totale du gluten du régime alimentaire (LAFAY, 2010).

Ce régime strict d'éviction pose évidemment d'importants problèmes quotidiens pour les malades et leurs familles puisque semoule et farine de blé et donc gluten sont présents dans la plupart des produits alimentaires de consommation courante.

BERRAH *et al.* (2000), rapportent que moins de la moitié des sujets atteints de maladie cœliaque, arrivent à suivre rigoureusement leur régime faute de disponibilité des produits sans gluten sur le marché algérien.

En effet ; les produits alimentaires importés pour cette tranche de population ne sont pas à la portée de tous et ne subviennent pas à la demande. La majorité des aliments souhaités par les malades sont notamment des aliments traditionnels locaux, non disponibles sur le marché ou trop chers (BENATALLAH *et al*, 2004). Parmi ces aliments vient le couscous qui est en tête des pâtes consommées par l'Algérien (DEROUICHE, 2003). Pâtes fabriquées à partir de blé, donc riches en gluten.

Il existe par contre d'autres céréales tolérées dans ce type de régimes, tel que le riz blanc, utilisé pour préparer du couscous destiné aux malades atteints de la maladie cœliaque, il contient moins de protéines, de vitamines, des minéraux et de fibres et plus d'amidon. La céréale ayant une valeur nutritionnelle amoindrie, le couscous obtenu est considéré comme plat déficient et moins équilibré surtout en acides aminés essentiels principalement la lysine, un apport supplémentaire en

fibres et une correction des éventuelles déficiences en lysines, en fer, en acide folique, en calcium et en B12 engendrées par le régime sont conseillés.

La complémentarité peut être apportée par des légumineuses largement utilisées depuis toujours par les populations, car riches en lysine et en fibres, ou même par la spiruline; cyanobactérie filamenteuse microscopique ressource alimentaire non conventionnelle; Particulièrement riche en protéines (60-70% du PS), vitamines (B12), provitamines A ( $\beta$ -carotène), acides aminés essentiels, minéraux et acides gras essentiels (acide  $\gamma$ -linoléique). propriétés très appréciables dans le cadre de l'enrichissement du régime alimentaire d'autant plus qu'elle est produite en Algérie avec de grands efforts pour la contribution à sa valorisation et au développement de sa culture afin de préserver cette ressource naturelle locale. Actuellement, elle est produite industriellement et vendue comme complément alimentaire dans les boutiques « d'alimentation-santé », dans le monde entier.

Conscients des difficultés d'application du régime sans gluten, et des conséquences engendrées par sa mise en œuvre tel que le risque de perte de la convivialité voire l'exclusion sociale des malades, cette étude se fixe pour objectif la formulation et la fabrication d'un couscous anti sprue à base de riz enrichi par l'incorporation de pois chiche et de la spiruline afin d'offrir une alternative et un choix dans la gamme de produits pour les malades cœliaques.

De ce fait, ce mémoire est constitué de trois parties. La première consiste en une étude bibliographique indiquant des généralités sur la spiruline, le couscous, le riz et le pois chiche et la théorie de complémentarité.

La deuxième partie décrit l'ensemble des moyens expérimentaux mis en œuvre lors de ce travail portant sur la caractérisation et la fabrication de ce type de produit (couscous de riz incorporé de pois chiche et de spiruline).

En fin, une conclusion générale est développée pour souligner la faisabilité de l'incorporation par le pois chiche et la Spiruline dans le couscous de riz, alternatif de couscous de blé pour les malades cœliaque un plat incontournable dans la gastronomie Algérienne tout en améliorant ses propriétés nutritionnelles, technologiques, culinaire et organoleptiques, pour offrir plus de choix de produits diététiques



## I. La spiruline

### 1-Historique

Des traces de cyanobactérie ont déjà été détectées dans des stromatolithes (restes de filaments d'algue pétrifiés dans du calcaire) datant de quelques 3.7 milliards d'années, en Afrique du Sud (PEREZ, 1997).

La spiruline, bien que déjà décrite par WITTROCK et NORDSTEDT en 1844, ne fut vraiment redécouverte qu'en 1940 au Tchad par un botaniste français du nom de Dangeard. Les Kanembous, tribu du Tchad, la consomment encore de nos jours sous le nom de Dihé. Depuis, on a su par les archives mexicaines que la spiruline était aussi consommée du temps des Aztèques (FARRAR, 1966), bien avant l'arrivée des Espagnols, sous le nom de Tecuitlatl. Depuis la mise en place de la culture en masse des micro-algues à la fin des années 50, elle connaît un regain de popularité pour l'alimentation humaine. Cependant, cette cyanobactérie resta une simple curiosité avant le 7ème congrès du pétrole en 1967 à Mexico, à l'occasion duquel des chercheurs de l'Institut Français du pétrole rendirent compte de leurs travaux sur la spiruline, qui jusque-là sont restés confidentiels. Ce fut l'origine de sa première exploitation industrielle, en 1976, par la société Sosa Texcoco basée au Mexique. Depuis, plusieurs entreprises se sont implantées un peu partout : Siam Algae Company à Bangkok en 1979, Earthrise farm aux Etats-Unis en 1983 (le plus gros producteur actuel), Cyanotech Corporation à Hawaï, etc. En 1995, il existe une vingtaine d'exploitations industrielles dans le monde (FOX, 1999).

En 1970, un rapport du Dr Hiroshi Nakamura, président du comité de développement de la spiruline au Japon, indiquait toutes les caractéristiques de cette algue. Ce rapport fut publié en 1978 dans l'ouvrage *Food from Sunlight* du Dr Christopher Hills, dans lequel sont également relatées les expériences faites sur les *Chlorella* et *Scenedesmus* (deux autres sortes d'algues bleues)(CRUCHOT, 2008). Au cours de la conférence alimentaire mondiale en 1974, la spiruline a été déclarée « meilleure source alimentaire du futur » par l'Organisation des Nations Unies (ONU) (DOUMENGE et al, 1993).

En 1984 le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique en France a donné un avis favorable pour la consommation humaine de toutes les algues spirulines (DOUMENGE et al, 1993 ;DANSOU, 2002).

Au début des années 1990, l'organisation humanitaire suisse Antenna Technology, renoue avec le projet du couple Fox. Cette ONG (organisation non gouvernementale) prétend que la spiruline serait la solution au problème de la faim dans le monde, étant donné qu'elle peut permettre la production d'une grande quantité d'éléments nutritifs essentiels sur un espace très réduit : en effet, dans une ferme exploitant la spiruline, le rendement est de 9 tonnes de protéines à l'hectare contre 1 tonne pour le blé ou le soja (FALQUET et HURNI, 2006).

Depuis, les recherches ont beaucoup évolués et on a trouvé de nombreuses applications possibles de la spiruline, notamment dans le domaine médical (CRUCHOT, 2008).

## **2-Répartition géographique**

La Spiruline se développe préférentiellement dans des eaux chaudes, alcalines et riches en nutriments azotés et phosphorés. Plus communément, elle s'observe dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales (CASTENHOLZ et al. 2001). Son caractère thermophile et ses besoins importants en lumière limitent son aire de répartition à une bande intertropicale située environ entre 35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud. Sa forte plasticité écologique permet de la retrouver à l'état naturel à la fois dans les lacs alcalins en Afrique (Tchad, Ethiopie, Tunisie), en Amérique latine (Mexique, Pérou), en Asie du Sud (Inde, Sri Lanka, Thaïlande). Cet organisme est dit ubiquiste. Il est cependant beaucoup moins abondant en Amérique du Nord et en Europe (ELYAH, 2003 ; CHARPY et al., 2008). (Voir Tableau 01 et Figure Annexe I)

**Tableau 01** :Sites géographiques ou pousse naturellement la spiruline (FOX, 1999):

| <i>Noms des pays</i> | <i>Localisations précises</i>   | <i>Noms des pays</i>          | <i>Localisations précises</i>  |
|----------------------|---|-------------------------------|--|
| <b>AFRIQUE</b>       |   | <b>AMERIQUE DU SUD</b>        |  |
| <i>Algérie</i>       | <i>Tamanrasset</i>  | <i>Pérou</i>                  | <i>Réservoir d'eau près de Paracas<br/>Près de l'île d'Amantani dans le lac Titicaca</i> |
| <i>Tchad</i>         | <i>Région du Kanem : lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseirom, Ouniangakebir</i> | <i>Mexique</i>                | <i>Lac Texcoco ; lac Cratère</i>   |
| <i>Soudan</i>        | <i>Cratère de Djebel Marra</i>  | <i>Uruguay</i>                | <i>Montevideo</i>  |
| <i>Djibouti</i>      | <i>Lac Abber</i>  | <i>Equateur</i>               | <i>Lac Quiliotoa : cratère de 1km de diamètre</i>  |
| <i>Ethiopie</i>      | <i>Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe</i>  | <b>AMERIQUE DU NORD</b>       |  |
| <i>Congo</i>         | <i>Mougounga</i>  | <i>Californie</i>             | <i>Oakland ; Del Mar Beach</i>   |
| <i>Kenya</i>         | <i>Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron</i>   | <i>Haïti</i>                  | <i>Lac Gonâve</i>  |
| <i>Tanzanie</i>      | <i>Lac Natron</i>   | <i>République Dominicaine</i> | <i>Lac Enriquillo</i>  |
| <i>Tunisie</i>       | <i>Lac Tunis; Chott el Jerid</i>  | <b>EUROPE</b>                 |  |
| <i>Zambie</i>        | <i>Lac Bangweoulou</i>  | <i>Hongrie</i>                |  |
| <i>Madagascar</i>    | <i>Beaucoup de petits lacs près de Toliara</i>  | <i>France</i>                 | <i>Camargue</i>  |
| <b>ASIE</b>          |   |                               |  |
| <i>Inde</i>          | <i>Lacs Lonar et Nagpur</i>   |                               |  |
| <i>Myanmar</i>       | <i>Lacs TwynTaung, Twyn Ma et TaungPyank</i>  |                               |  |
| <i>Sri Lanka</i>     | <i>Lac Beira</i>  |                               |  |
| <i>Pakistan</i>      | <i>Mares près de Lahore</i>   |                               |  |
| <i>Thaïlande</i>     | <i>Lacs d'effluents d'une usine de tapioca, province de Radburi, 80 km au S.O. de Bangkok</i>                                     |                               |  |
|                      | <i>Azerbaidjan</i>  |                               |  |

La spiruline peut même pousser dans des lacs volcaniques (lac Quiliotoa, en Equateur). Plus généralement, elle croît dès que l'eau est riche en carbonate ou bicarbonate de sodium, d'autres minéraux et une source d'azote fixé. C'est pourquoi on peut en trouver aussi dans certains déserts, à l'endroit de ramassage de l'eau provenant occasionnellement des montagnes (FOX, 1999).(voir tableau01)

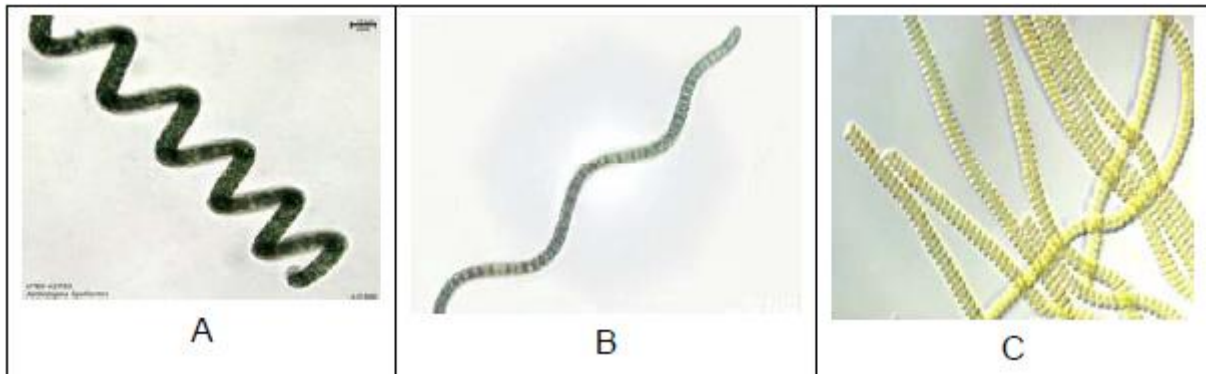
### 3-Taxonomie

La Spiruline est une cyanobactérie (anciennement désignée par le terme « algue bleue » puis cyanophycée). Elle appartient donc au domaine des bactéries (*Bacteria*) et se classe parmi les bactéries gram négatives. Les cyanobactéries forment l'essentiel des bactéries capables de photosynthèse avec production d'oxygène et peuvent être unicellulaires ou pluri cellulaires. La Spiruline appartient à l'ordre des Nostocales (= Oscillatoriales), la famille des *Oscillatoriaceae*, le genre *Oscillatoria* et le sous genre *Spirulina* ou *Arthrospira* (CHARPY et al, 2008) .Les deux especes les mieux connues sont *spirulin aplatensis* est originaire du Kanem (Tchad) et *Spirulin ageitleri* ou *maxima* est présente au Mexique (SALL et al,1999) .

« spiruline » correspond au nom commercial international issu des taxons *Spirulina maxima*, *Spirulina platensis*, *Oscillatoria platensis*... qui font référence à une ancienne classification mais qui sont encore très fréquemment utilisés. Le taxon scientifique officiel actuel est *Arthrospira platensis*. Une classification récente indique que les trois espèces du genre *Spirulina* appartiennent en fait au genre *Arthrospira*. C'est d'ailleurs pourquoi il existe aujourd'hui toujours une certaine confusion entre les deux noms dans la littérature scientifique .Selon une étude de préféabilité, il existe trois espèces comestibles : *Arthrospira platensis*, *Arthrospir ageitleri* ou *maxima*, *Arthrospira fusiformis* ou *jeejibai*. Mais il est à noter que la distinction entre ces différentes espèces reste peu claire en raison d'une grande variabilité morphologique au sein d'une même espèce du genre *Arthrospira*. Cette variabilité liée à des facteurs environnementaux, tels que la température, l'intensité lumineuse ou la concentration en nutriments dans le milieu, conduit à un polymorphisme des espèces rendant souvent difficile leur identification précise. L'espèce présente au Tchad est très variable et se nomme *Arthrospira platensis* (GONNET,2005).

### 4- Morphologie et caractères généraux

La Spiruline est une cyanophycée microscopique pluricellulaire d'une longueur moyenne d'environ 250µm. Elle est composée de filaments mobiles de 10 à 12 µm de diamètre non ramifiés et enroulés en spirale, généralement en 6 ou 7 spires. Cette forme hélicoïdale lui donnant l'allure d'un minuscule ressort lui a valu son appellation de « Spiruline » .Cependant les Spirulines présentent différentes formes (Figure 01).On trouve des formes spiralées classiques, ondulées et parfois droites. Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat (SALL et al, 1999 ;CHARPY et al,2008) .

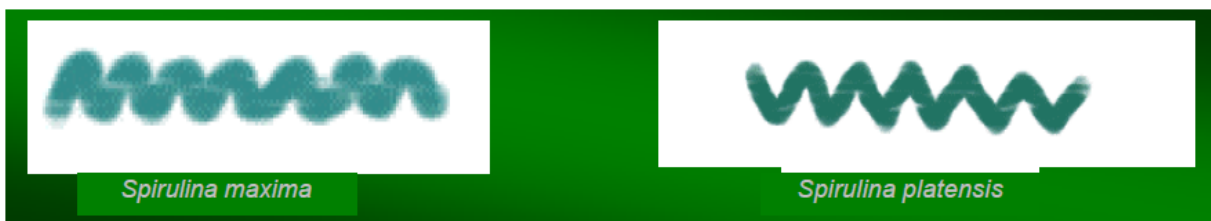


**Figure 01** : Différentes formes prises par la Spiruline. A = Forme spiralée (*Arthrospira fusiformis*) B= Forme ondulée (*Spirulina maxima*)  
C = *Arthrospira platensis* (CHARPY et al,2008)

Plus précisément, la Spiruline est constituée de cellules transparentes empilées bout à bout formant ainsi un filament ou trichome. L'enroulement du trichome sur lui-même s'effectue suivant le sens des aiguilles d'une montre lorsqu'on regarde au-dessus de la spirale. Les facteurs environnementaux tels la température auraient cependant une influence sur l'orientation de l'hélice, (MUHLING et al. 2003). Cette morphologie typique lui permet de se

déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis (CHARPY et al, 2008).

L'espèce mexicaine *Spirulina maxima* se caractérise par des trichomes de 7 à 9 $\mu$  de diamètre, de 70 à 80 $\mu$  de long, légèrement effilés aux extrémités, formant une spirale régulière de 3 à 8 tours et de 40 à 60 $\mu$  de diamètre. Les cellules constituant des trichomes mesurent 5 à 7 $\mu$  de long et ne rétrécissent pas au niveau des articulations. L'espèce du Tchad *Spirulina platensis* compose de trichomes atteignant 350 $\mu$  de long, de 5 à 11 $\mu$  de diamètre, un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spire ont un diamètre de 20 à 50 $\mu$ , diminuant légèrement vers les extrémités (FOX, 1999). (Voir Figure 2)



**Figure 2** : Filaments des deux espèces de spiruline observés au microscope optique(ELYAH,2003)

### 5-Composition chimique et valeur nutritionnelle de la Spiruline

La composition de la Spiruline dépend des éléments chimiques dont elle dispose dans le milieu. Ainsi, en milieu naturel, dans la région du Kanem (Tchad), la Spiruline récoltée n'est pas de qualité égale d'un « ouadi » à l'autre. En milieu cultivé, il est possible de jouer sur les intrants et d'influer sur sa composition. La culture en bassin permet en tous les cas de maîtriser la qualité. La plupart des études des constituants de la Spiruline ont été réalisées sur *Spirulina platensis*(connue aussi sous

l'appellation de *Arthrospira platensis* sou *S. geitler*). Cette espèce sert de référence car sa composition est relativement constante même si elle varie selon la souche, les conditions de culture et le mode de conditionnement(CHARPY et al,2008 ).

## 5-1-PROTEINE

- Teneur et composition

La spiruline a une teneur en protéines variant entre 50 et 70%. Cette teneur dépend notamment de la période de la journée à laquelle elle est récoltée, la souche, le milieu de culture. La teneur en protéines sera plus importante si la récolte a été effectuée le matin (AFAA, 1982 ;FALQUET, 1996).

A noter que les protéines majeures de la spiruline sont les phycocyanines (des composants de l'appareil photosynthétique des cyanobactéries). Naturellement colorées d'un bleu intense et pourvue d'une fluorescence rouge, les phycocyanines sont responsables du bleuissement de la poudre de spiruline exposée trop longtemps à la lumière : moins sensible que la chlorophylle à la photo-destruction, leur couleur domine lorsque le vert chlorophyllien disparaît. C'est aussi aux phycocyanines que l'on doit l'intense couleur bleue qui apparaît plus ou moins rapidement lorsque l'on réhydrate de la spiruline séchée : l'éclatement des cellules libère ces protéines très solubles dans l'eau, alors que la chlorophylle reste associée aux débris cellulaires (FALQUET et HURNI , 2006).

D'un point de vue qualitatif, les protéines de la spiruline ont une valeur biologique très haute avec un coefficient de digestibilité et d'assimilation de l'ordre de 85%. (VERMOREL et al, 1975) car elles renferment tous les acides aminés essentiels pour l'adulte (tableau 02) ; ceux-ci représentent 47 % du poids total des protéines. Les acides aminés essentiels les moins représentés sont les molécules soufrées : méthionine et cystéine ; ils sont toutefois présents à plus de 80 % de la valeur idéale définie par la FAO (sur la base de l'albumine de l'œuf et de la caséine)(CRUCHOT,2008).

**Tableau 02:**Teneur de la spiruline « Flament vert » en acide aminés (FLAMENT VERT,2008 ; BUJARD,1970)

| <b>Nom des acides aminés</b> | <b>Teneur en g /kg de spiruline(pois sec)</b> |
|------------------------------|---|
| <b>alanine</b>               | 47  |
| <b>arginine</b>              | 43  |
| <b>acide aspartique</b>      | 61  |
| <b>acide glutamique</b>      | 91  |
| <b>cystine</b>               | 6   |
| <b>glycine</b>               | 32  |
| <b>histidine</b>             | 10  |
| <b>isoleucine</b>            | 35  |
| <b>leucine</b>               | 54  |
| <b>lysine</b>                | 29  |
| <b>méthionine</b>            | 14  |
| <b>phénylalanine</b>         | 28  |
| <b>proline</b>               | 27  |
| <b>sérine</b>                | 32  |
| <b>thréonine</b>             | 32  |
| <b>tryptophane</b>           | 9   |
| <b>tyrosine</b>              | 30  |
| <b>valine</b>                | 40  |

En gras : acides aminés essentiels

- Utilisation protéique nette

La digestibilité de la spiruline est en plus accrue par l'absence de paroi cellulosique dans la cellule, remplacée par une enveloppe de muréine fragile, Contrairement à d'autres micro-organismes proposés comme source de protéines (levures, chlorelles...), elle a donc l'énorme avantage d'être parfaitement digestible sans cuisson ni autre traitement destiné à rendre ses protéines accessibles. Leur digestibilité est évaluée à 83 % (FALQUET, 1996 ; ANUSUYA et VENKATARAMAN, 1983 in ELYAH,20 13)

- Efficacité protéique

L'efficacité protéique (PER) d'un aliment est déterminé par le rapport « Gain de poids de l'animal ou de l'individu / poids de protéines ingérées ». La protéine de référence est souvent le lactalbumine ou bien la caséine, laquelle présente un PER de 2.5. La spiruline seule, au cours d'expériences menées sur le rat, a un PER de 1.90, tandis qu'accompagné de riz dans une proportion égale, cette valeur s'élève à 2.40 (ANUSUYA et VENKATARAMAN, 1983 in ELYAH ,2013).

## 5-2-Lipides

### ➤ Lipides totaux

Selon les publications de ROSS et DOMINY, 1999 ; XUE . et al 2002 ;HARRIMAN, et al 1989 ; GIRARDIN-ANDREANI, 2005 la valeur du poids sec en lipides totaux varient de 5,6 a 11 % en poids et même peut aller jusqu'au 14,3 % au maximum selon BABADZHANOV et al(2004) cité par SGUERA,(2008).Ces variations quantitatives mais aussi qualitatives sur la composition de ces lipides peuvent provenir de la méthode d'extraction et du moyen d'analyse utilise ou simplement de la variété d'*Arthrospira platensis* (SGUERA ,2008) .

Cette fraction lipidique se caractérise par un bon équilibre acides gras saturés/acides gras polyinsaturés (CHARPY et al ,2004) .Les lipides peuvent être séparés en une fraction saponifiable (83 %) et une fraction insaponifiable (17 %) contenant essentiellement une paraffine, des pigments, des alcools terpéniques et des stérols (ROSS et DOMINY, 1999 )

### ➤ Acides gras

Les acides gras essentiels sont des acides gras polyinsaturés classés en deux groupes (oméga-3 et oméga-6). Ceux du groupe oméga-3 jouent un rôle préventif sur les risques cardiovasculaires, tandis que les acides gras oméga-6 ont un rôle hypocholestérolémiant. Les besoins en acides gras essentiels correspondent a 1 à 2 % des calories journalières chez l'adulte et à 3 % de ces calories chez les enfants. Actuellement, les nutritionnistes recommandent une alimentation fournissant un rapport oméga-6/oméga-3 situé entre 4 et 5 (OTTEN et al ,1999) .

Le profil des acides gras de la spiruline est rapporté dans le Tableau 03 dessous

**Tableau 03:**Profil typique des acides gras d'*Arthrospira sp*( FALQUET et HURNI , 2006)

| <b>Acide gras</b>                       | <b>% des acides gras totaux</b> |
|---|---------------------------------|
| <b>Palmitique(16 :0)</b>                | 25 à-60 %                       |
| <b>Linoléique(18 :2) omega-6</b>        | 10 à 30%                        |
| <b>Gamma-linoléique(18 : 3) omega-6</b> | 8 à40%                          |
| <b>Oléique(18 :1) omega-6</b>           | 5 à16%                          |
| <b>Palmitoiléique(18 :1) omega-6</b>    | 0.5 à10%                        |
| <b>Stéarique(18 :0)</b>                 | 0 ,5à 2%                        |
| <b>Alpha-linoléique(18 :3) omega-3</b>  | Absent                          |

L'*acide gamma-linolénique* constitue jusqu'à 40% des acides gras de la spiruline, qui figure parmi les meilleures sources connues d'acide gamma-linolénique. Cette présence mérite d'être soulignée du fait de sa rareté dans les aliments courants et que c'est un précurseur de médiateurs chimiques des réactions inflammatoires et immunitaires (FALQUET et HURNI , 2006).

A noter encore l'absence d'acides gras au nombre de carbone impair (CLEMENT, 1975) et une très faible teneur en acides gras à chaînes ramifiées (BUJARD, 1970), deux types de lipides non métabolisables par les animaux supérieurs. Enfin, la



spiruline a été recommandée comme supplément alimentaire en cas de carence en acides gras essentiels (HUDSON, 1974 in FALQUET et HURNI, 2006)

Il semble bien établi que le contenu en acide gras de la spiruline puisse être facilement modifié suivant les conditions de culture (COLLA, 2004). De plus, l'ajout de certains acides gras directement dans le milieu de culture de la spiruline peut largement modifier la composition lipidique de celle-ci; ainsi en ajoutant des sels d'acide linoléique (C18 :2), on peut considérablement modifier la teneur en acide gamma-linolénique ainsi qu'en sulfolipides de la spiruline (QUOC, 1994; DURAND-CHASTEL, 1999). Enfin, d'importantes variations dans le profil des acides gras ont été étudiées entre différentes souches de spiruline (*Arthrospira sp*) et l'absence d'acide alpha-linolénique a été bien établie. Ce dernier acide gras peut même être considéré comme un facteur de discrimination entre le genre *Arthrospira* (qui n'en contient pas) et le genre *Spirulina*, qui en contient toujours (MÜHLING, 2005 in FALQUET et HURNI, 2006)

#### ➤ La fraction saponifiable

La fraction insaponifiable est composée essentiellement de stérols, de terpènes, d'hydrocarbures saturés (paraffines) et de pigments. Cette fraction représente 1,1% à 1,3% de la matière sèche de la Spiruline (FOX ,1999).

Bien que certaines études révèlent l'absence de stérols, il semblerait que ces derniers représentent néanmoins 1,5% de la fraction lipidique non polaire de la Spiruline en stérols libres (FALQUET et HURNI, 2006).

Les alcools terpéniques représentent 5 à 10% de l'insaponifiable, il s'agit essentiellement d'alpha- et de bêta-amyrine, un triterpène pentacyclique. *S. Maxima* contiendrait aussi un alcool triterpénique saturé non identifié (CLEMENT, 1975), mais aucune étude ultérieure ne vient confirmer cette information (FALQUET et HURNI ,2006) .

Les hydrocarbures saturés à longues chaînes (paraffine) constituent 25% des lipides insaponifiables chez *Spirulina platensis* et *Spirulina maxima* (BUJARD et al , 1970).

### 5-3-Glucides

Les glucides constituent 15 à 25 % de la matière sèche des spirulines (FOX ,1999 ; FALQUET et HURNI, 2006). Les glucides simples ne sont présents qu'en très faibles quantités Ce sont le glucose, le fructose et le saccharose; on trouve aussi des polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol.(FALQUET et HURNI ,2006).

Ces hydrates de carbone composent notamment sa membrane cellulaire. Les parois cellulaires des spirulines s'apparentent à celles des bactéries Gram-positives puisqu'elles sont formées de glucosamines et d'acide muramique associées à des peptides. Les formes primaires des hydrates de carbone sont le rhamnose et le glycogène, deux polysaccharides facilement absorbés par l'organisme (BABADZHANOV et al 2004 in SQUERA,2008)

Du point de vue nutritionnel, la seule substance glucidique intéressante par sa quantité chez la spiruline est le méso-inositol phosphate qui constitue une excellente source de phosphore organique ainsi que d'inositol (350-850 mg/kg mat. sèche) (CHALLEM, 1981). Cette teneur en inositol est environ huit fois celle de la viande de boeuf et plusieurs centaines de fois celle des végétaux qui en sont les plus riches. (FALQUET et HURNI, 2006)

Il faut toutefois remarquer qu'une teneur si élevée en cyclitols phosphates pourrait avoir à la longue un effet décalcifiant, si l'apport en calcium se trouvait insuffisant. Heureusement, dans le cas de la spiruline, ce danger est écarté par sa richesse en calcium, comparable à celle du lait (CHALLEM, 1981 ; EARTHRISE, 1986). Notons que les polysaccharides de la spiruline auraient des effets de stimulation des mécanismes de réparation de l'ADN (PANG, 1988) ce qui pourrait expliquer un effet radioprotecteur plusieurs fois mentionné à propos de la spiruline (QISHEN, 1989). Un polysaccharide spécifique de la spiruline, le spirulan, a été isolé et partiellement caractérisé (LEE, 2000). Porteur de nombreux résidus sulfate et contenant de l'acide uronique, il est fortement polyanionique; son squelette consiste essentiellement en méthyl-rhamnose et méthyl-xylose. Cette substance semble prometteuse comme anti-viral dans certaines applications thérapeutiques (HAYASHI, 1996 ; RECHTER, 2006).

#### **5-4-Acides Nucleiques**

La teneur en acides nucléiques (ADN et ARN) est un point nutritionnel important car la dégradation biochimique d'une partie de leurs composants (les purines : adénine et guanine) produit en dernier lieu de l'acide urique. Or une élévation du taux d'acide urique plasmatique peut produire à la longue des calculs rénaux et des crises de goutte. On admet généralement que la dose maximum admissible à long terme d'acide nucléique se situe aux alentours de quatre grammes par jour, pour un adulte (BOUDENE, 1975 in FALQUET et HURNI,) . Il faut ajouter que l'ARN produit deux fois plus d'acide urique que l'ADN, pour une même teneur en purines et que l'élévation du taux d'acide urique dépend aussi de multiples facteurs, tels que l'âge, le sexe ou encore l'obésité (FALQUET et HURNI, 2006) .

Chez *S. Platensis* comme chez *S. Maxima*, on rapporte des valeurs de 4.2 à 6% d'acides nucléiques totaux dans la matière sèche (AFAA, 1982). La proportion d'ADN serait d'un quart à un tiers par rapport à l'ARN (FALQUET et HURNI, 2006) .

Ces chiffres sont à mettre en rapport avec d'autres aliments (tableau 04 ). La teneur en acides nucléiques des spirulines est très inférieure à celle de la généralité des unicellulaires.

**Tableau 04:** teneur en acide nucléique de quelques aliments (FALQUET et HURNI, 2006)

| <b>Aliments</b>       | <b>Acide nucléique totaux(%matière sèche)</b> |
|-----------------------|---|
| <b>Viande de bœuf</b> | 1,5   |
| <b>Foie de bœuf</b>   | 2,2   |
| <b>Spiruline</b>      | 4-6   |
| <b>Levure</b>         | 23  |

En se basant sur une valeur moyenne de 5 % en acides nucléiques, la limite quotidienne de 4 g d'acides nucléiques représente le contenu de 80 g de spiruline sèche. Cette quantité équivaut à environ huit fois la dose de spiruline recommandée comme supplément alimentaire. On peut donc raisonnablement penser que la teneur en acides nucléiques de la spiruline ne pose pas de problèmes, même à long terme et pour des doses élevées (FALQUET et HURNI, 2006).

### **5-5- Vitamines**

On peut classer les vitamines en deux grands groupes. Selon leur solubilité, on distingue :

- les vitamines hydrosolubles (groupe de vitamine B et PP, la vitamine C) sont essentiellement des coenzymes.

- les vitamines liposolubles (vitamines A, D, E, K). Leur mécanisme d'action est plus complexe et moins bien connu que pour les vitamines hydrosolubles. (DUPIN, 1992)

La spiruline contient de nombreuses d'entre elles et spécialement des vitamines B dans des proportions optimales.

#### ➤ **Vitamines hydrosolubles**

Les vitamines constituent le principal facteur impliqué dans les propriétés biologiques des

Spirulines. Les vitamines identifiées en majorité chez *Spirulina platensis* sont (pour 100g de biomasse) : la vitamine C (42,0-195,3 mg), la vitamine B3 (0,6-5,3 mg), la vitamine B1 (0,8-15,4 mg), la vitamine B2 (0,2-0,9 mg), la vitamine B6 (0,3-4,0 mg), la vitamine B9 (0,2-0,6 mg) et la vitamine B12 (0,3-0,8 mg).

Il faut noter que la biomasse poussant en printemps-été montre une proportion en vitamines plus élevée. Ceci dépend essentiellement des conditions d'ensoleillement (voir Tableau05).

**Tableau 05:** Vitamines hydrosolubles contenues dans la biomasse de *Spirulina platensis* en fonction des saisons (mg / 100gr de matière sèche) (BABADZHANOV *et al.*, 2004)

| <b>Vitamines hydrosolubles</b>     | <b>Echantillon recueilli en hiver</b> | <b>Echantillon recueilli en automne</b> | <b>Echantillon recueilli en été</b> | <b>Echantillon recueilli en au printemps</b> |
|------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--|
| <b>Acide ascorbique (vit C)</b>    | 42,8                                  | 42                                      | 106,2                               | 195,3  |
| <b>Nicotinamide (vit B3 ou PP)</b> | 5,3                                   | 0,6                                     | 0,4                                 | 0,9  |
| <b>Pyridoxine (vit B6)</b>         | 4                                     | 0,6                                     | 0,3                                 | 0,5  |
| <b>Riboflavine (vit B2)</b>        | 0,8                                   | 0,7                                     | 0,9                                 | 0,2  |
| <b>Thiamine (vit B1)</b>           | 11,6                                  | 15,4                                    | 0,8                                 | 0,8  |
| <b>Cyanocobalamine (vit B12)</b>   | 0,4                                   | 0,8                                     | 0,3                                 | 0,3  |
| <b>Acide folique (vit B9)</b>      | 0,6                                   | 0,4                                     | 0,2                                 | 0,6  |

Concernant la vitamine B9, SALL *et al.* (1999), indiquent une valeur allant jusqu'à 100 mg d'acide folique mais ne précisent pas s'il s'agit d'une valeur mesurée chez l'espèce *platensis* ou *maxima*

Il faut souligner la teneur exceptionnelle en vitamine B12 (cobalamine) qui est de loin la vitamine la plus difficile à obtenir dans un régime sans viande car aucun végétal courant n'en contient. Déterminée selon l'ancienne méthode standard, la spiruline en serait quatre fois plus riche que le foie cru, longtemps donné comme meilleure source. Il faut pourtant noter qu' il existe une controverse à propos de la biodisponibilité réelle du complexe B12 de la spiruline chez l'homme. Certains tests radiochimiques de liaison au facteur intrinsèque nieraient la présence de vitamine B12 "active" dans la spiruline (LEITZMANN, 1993).

#### ➤ **Vitamines liposolubles**

Les trois vitamines liposolubles trouvées chez la spiruline sont le  $\beta$ -carotène, précurseur de la vitamine A, la vitamine E et la vitamine D (Tableau06).

**Tableau06 :** vitamine liposoluble contenue dans la biomasse de *Spirulina platensis* en fonction des saisons (mg / 100gr de matière sèche) (BABADZHANOV *et al.*, 2004).

| <b>Vitamines</b>                                 | <b>Quantité</b>           |
|--|---------------------------|
| <b><math>\beta</math>-Carotène (provitamine)</b> | 64 à 200 mg /100          |
| <b>Tocophérol (Vitamine E)</b>                   | 10 à 19 mg / 100 g        |
| <b>Vitamine D</b>                                | 12000 U soit 0,3 mg /100g |

#### • **Provitamine A ( $\beta$ -carotène)**

On trouve entre 700 et 2000 mg de beta-carotène et environ 100 à 600 mg de cryptoxanthine par kilogramme de spiruline sèche (CARERI *et al.*, 2001), ces deux caroténoïdes sont convertibles en vitamine A par les mammifères (EVETS, 1994 *in* FALQUET *et* HURNI, 2006).

- **Vitamine E (tocophérols)**

On trouve 50 à 190 mg de vitamine E par kilo de spiruline sèche (CHALLEM, 1981; EARTHRISE, 1986), teneur comparable à celle des germes de blé considéré comme la référence sur le plan de l'apport en cette vitamine. Des disparités de teneur existent et proviennent principalement des conditions de séchage de la spiruline (FALQUET et HURNI, 2006). Dans son ouvrage, FOX (1999), considère comme très probable que le séchage par « spray-drying », lequel brise très fortement les filaments de spiruline, réduise considérablement la durée de conservation des vitamines sensibles à l'oxydation, dont la vitamine E.

### 5-6- Minéraux et Oligoéléments :

La composition en minéraux de la Spiruline apparaît dans le Tableau 07. On observe une grande variabilité dans les teneurs. Elle s'explique par le fait qu'elles concernent les spirulines en milieu naturel et celles cultivées. La variabilité dans les cultures maîtrisées est bien moindre. En outre, il est possible d'augmenter les teneurs en minéraux des organismes cultivés (FALQUET et HURNI, 2006).

**Tableau 07:** Composition en minéraux de la Spiruline cultivée en µg/g de sa matière sèche (FALQUET et HURNI, 2006)

| <i>Minéraux</i>  | <i>Teneur (mg/kg)</i> | <i>Minéraux</i>   | <i>Teneur (mg/kg)</i> |
|------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| <b>Calcium</b>   | 1300 -14000           | <b>Chrome</b>     | 2,8                   |
| <b>Phosphore</b> | 6700 -9000            | <b>Manganèse</b>  | 25 -37                |
| <b>Magnésium</b> | 2000-2900             | <b>Sodium</b>     | 4500                  |
| <b>Fer</b>       | 580-1800 *            | <b>Sélénium *</b> | 0.01-50               |
| <b>Potassium</b> | 6400-15400            | <b>Cuivre *</b>   | 8-10                  |
| <b>Zinc</b>      | 21-40 *               |                   |                       |

\* Valeurs obtenues par enrichissements spécifiques

➤ **Le fer :** la spiruline renferme une teneur très élevée en fer (550-6000 mg/kg) par comparaison ; les céréales complètes classées parmi les meilleures sources de fer n'en contiennent que 150 à 250 mg/kg ; de plus le fer d'origine végétale ne présente qu'une très faible biodisponibilité, seul environ 5 % de ce fer est réellement absorbable, à cause de la présence de facteurs antinutritionnels (comme les phytates et les tanins) qui empêchent la métabolisation du fer ; quand aux suppléments de fer donnés sous forme de sulfate ferreux, ils peuvent poser des problèmes de toxicité (FALQUET et HURNI, 2006).

Les spirulines naturelles contiennent rarement plus de 500 mg/kg de fer, quoique des valeurs supérieures à 1000 mg/kg de fer ont été publiées (CAMPANELLA, 1999). Dans le cas des spirulines cultivées, l'ajout au milieu de culture de sels de fer, élève facilement ces valeurs entre 600 à 1000 mg/kg, voire bien au-delà. On trouve sur le marché européen des spirulines titrant près de 6000 mg/kg en fer<sup>2+</sup> (BIORIGIN, 2006).

- **Le zinc** : La spiruline cultivée contient généralement que des traces (21-40µg/g), alors qu'on peut en trouver dans certaines spirulines naturelles près de 400µg/g (CAMPANELLA, 1999). Ces valeurs sont insuffisantes pour que ces spirulines puissent être considérées comme de bonnes source de zinc, car les apports journaliers recommandés sont de 0.6 à 3 mg/j chez un nourrisson/enfant (ces variations dépendent du type de régime alimentaire associé), de 4 à 12 mg/j pour un adolescent et de 3 à 8 mg/j chez l'adulte (WHO,2004).
- **le magnésium** : La spiruline peut être considérée comme une excellente source alimentaire de magnésium : elle en est naturellement riche, entre autre par sa teneur en chlorophylle (qui contient un atome de magnésium en centre), et ce magnésium a été démontré sa biodisponibilité pour l'homme (PLANES, 2002 *in* FALQUET et HURNI, 2006).
- **Le sélénium** : Le sélénium est un micro-nutriment essentiel qui intervient dans la protection contre les espèces oxygénées réactives. Il est impliqué dans l'élimination des acides gras peroxydés et, en association avec la vitamine E, dans la destruction des radicaux libres. Les doses quotidiennes recommandées pour l'adulte sont de 50 ug, avec une limite supérieure de sécurité fixée à 400 µg. (CHEN et al, 2006) .Plusieurs études démontrent la possibilité d'enrichir la spiruline en sélénium, par addition de sélénite de sodium au milieu de culture (CHEN et al, 2006;LI et al ,2003 *in* CRUCHOT,2008)
- **L'iode** : Cet élément est indispensable au développement et au bon fonctionnement de la thyroïde. Une carence en iode provoque chez l'enfant de graves et irréversibles troubles du développement. Malheureusement, la spiruline qui pousse naturellement ne renferme pas d'iode. Des scientifiques ont donc cherché à l'enrichir en modifiant son milieu de culture. Les publications jusqu'alors disponibles sur le sujet manquent de clarté et les teneurs en iode annoncées semblent sujettes à caution. D'autre part, comme les sels d'iode sont chers et que la spiruline ne semble pas, en conditions normales, concentrer activement cet élément, il est à craindre que l'enrichissement des milieux de culture n'aboutisse à un fort gaspillage.(CRUCHOT,2008)
- **Autres minéraux** :Calcium, phosphore et magnésium sont présents dans la spiruline en quantités comparables à celles trouvées dans le lait. Les quantités relatives de ces éléments sont équilibrées ce qui exclut le risque de décalcification par excès de phosphore. Une haute teneur en potassium est également à souligner car dans le cadre des pays industrialisés, bien des nutritionnistes s'élèvent contre les trop faibles rapports potassium/sodium de la grande majorité des aliments disponibles. (FALQUET et HURNI ,2006)

## 5-7-Phytonutriments et enzymes

### **5-7-1- Caroténoïdes naturels**

Les caroténoïdes sont de longues molécules très hydrophobes, colorées (jaune à rouge) et possédant un système de doubles liaisons conjuguées. Dans les caroténoïdes, on distingue d'une part les carotènes, et d'autre part, les xanthophylles : les carotènes sont constitués uniquement de carbone et d'hydrogène alors que les xanthophylles contiennent en plus des atomes d'oxygène. La spiruline renferme un spectre large de 10 caroténoïdes différents. (DOUMENGE et al,1993.) L'ensemble de ses caroténoïdes travaille en synergie au niveau de l'organisme, pour en augmenter la protection face à l'agression des radicaux libres oxygénés (CRUCHOT,2008).

- **Les carotènes :**

La spiruline est l'un des aliments les plus riches en  $\beta$ -carotène. D'un point de vue quantitatif, 1 kg de spiruline sèche renferme en moyenne 3,7 g de caroténoïdes totaux. La moitié environ sont des carotènes orangés (alpha, bêta et gamma) ; parmi eux on compte environ 1,4 g de  $\beta$ -carotène. (ANONYME ,2007)

- **Les xanthophylles :**

L'autre moitié des caroténoïdes totaux de la spiruline est constituée de xanthophylles jaunes, soit environ 1,6 g par kg de matière sèche. Selon un ordre décroissant de leur importance quantitative, on retrouve la cryptoxanthine, l'échinénone, la zéaxanthine, la lutéine et l'euglénanone (ANONYME ,2007).

### **5-7-2-Chlorophylle a**

La spiruline a l'un des taux les plus élevés en chlorophylle que l'on puisse trouver dans la nature (en moyenne 10 g/kg de matière sèche). Elle ne dépasse pas cependant les niveaux de *Chlorella* (2 à 3 %), micro-algue très intéressante sur le plan nutritionnel (ANONYME , 2004 ).

### **5-7-3-Phycocyanine**

Cette protéine complexe, hydrosoluble, est présente à hauteur de 150 g/kg de spiruline sèche. La phycocyanine est spécifique de l'algue bleu-vert puisqu'on ne la trouve nulle part ailleurs dans la nature. Elle est apparue un milliard d'années avant la chlorophylle, et peut être considérée comme un précurseur de l'hémoglobine et de la chlorophylle dans la mesure où son noyau renferme à la fois un ion fer et un ion magnésium (ANONYME, 2006).

### **5-7-4-Superoxydedismutase**

Les enzymes sont des catalyseurs de certaines réactions biochimiques. Comme les vitamines, elles sont altérées par la chaleur et détruites par la cuisson. La spiruline en renferme notamment une, laquelle joue un rôle de antioxydant primaire : la superoxydedismutase (SOD) ; sa teneur est d'environ 1,5 millions d'unités / kg de spiruline sèche (ANONYME ,2007).

## **6-Microflore associée aux milieux de cultures et aux préparations de spiruline**

La microflore associée aux cultures de spiruline est généralement rare et non pathogène (VERMOREL, 1975). De fait, l'alcalinité très élevée du milieu de culture (pH 8.5 à 11.0) constitue une excellente barrière contre la plupart des contaminations, aussi bien de bactéries que de levures, de champignons ou d'algues. De plus, il semble que certaines substances sécrétées ou contenues dans les spirulines possèdent une intéressante activité bactéricide ou au moins bactériostatique (OZDEMIR, 2004 *in* FALQUET et HURNI, 2006)

Les analyses bactériologiques de spirulines produites industriellement au Mexique (SANTILLAN, 1974) ou aux USA (EARTHRISE, 1986) confirment l'absence totale de pathogènes tels que *Salmonella*, *Shigella* ou staphylocoques. Aucune contamination par des amibes dysentériques n'a pu être mise en évidence, aussi bien dans des sources naturelles (lac Tchad) que dans des bassins expérimentaux (JACQUET, 1975 *in* FALQUET et HURNI, 2006).

## **7-Acceptabilité, formulation**

### **7-1 Acceptabilité alimentaire**

L'acceptabilité alimentaire de la spiruline a longtemps constitué un contre-argument systématique et à priori à son introduction dans les programmes nutritionnels. L'intensité de sa couleur verte et son extrême pouvoir colorant sur d'autres aliments l'empêche d'être « dissimulée » dans une préparation culinaire. D'autre part, si la spiruline fraîche ne présente pratiquement aucun arôme et aucun goût, il n'en va pas de même de la spiruline séchée (surtout si elle est réduite en poudre) : son odeur spécifique rappelle l'algue et le champignon et n'est pas du goût de tous, en tout cas dans le contexte culturel européen. Heureusement, l'expérience aidant, il a été démontré que l'acceptabilité alimentaire est excellente lorsque l'on s'adresse aux enfants en bas âges pour des doses de quelques grammes par jour (SALL, 1999; DEGBEY, 2004) ou lorsque des formulations basées sur des aliments traditionnels sont mises à contribution (KAPOOR, 1992). Il se trouve que certaines des régions les plus touchées par la malnutrition sont aussi celles où l'introduction de spiruline peut être le plus facilement réalisée du fait de la nature des plats traditionnels (en Afrique : sauces accompagnant les bouillies de céréales, par exemple; en Inde, biscuits et friandises traditionnels (FALQUET et HURNI, 2006).

l'appréciabilité du couscous enrichi par la spiruline ne fait pas défaut par sa couleur ni par son odeur légèrement accentuée en rappelant le goût et la saveur des plats de couscous préparés à base de poissons très appréciés dans l'Est Algérien (DOUMANDJI *et al*, 2011) .

### **7-2-Formulations alimentaires**

Certaines propriétés physiques de la spiruline ont été déterminées afin d'en faciliter l'usage dans l'industrie alimentaire (CHRONAKIS, 2001 *in* FALQUET et HURNI, 2006). On notera aussi l'intérêt manifesté pour la spiruline dans le domaine des « alicaments » : l'ajout de spiruline dans certains produits laitiers industriels a été envisagée (VARGA, 2002). L'introduction de spiruline dans des aliments pour enfants a également fait l'objet de recherches et depuis quelques années, une série de



formulations de farines de sevrage contenant de la spiruline sont apparues dans divers pays : farine « Xeweul » au Sénégal, « SOSPI SOMA » en République Démocratique du Congo ou encore, au Burkina-Faso, amélioration de la formule « MISOLA » par ajout de spiruline (SIMPORE, 2006). La courte cuisson nécessaire à la préparation des bouillies ne semble guère affecter les nutriments contenus dans la spiruline, si l'on en croit les mesures effectuées sur l'acide gamma linoléique, l'un des composants les plus délicats de la spiruline (DUPIRE, 1998 *in* FALQUET et HURNI, 2006)

A l'instar des autres pays, l'Algérie contribue à la valorisation et au développement des cultures et d'utilisation de la spirulines d'autant plus qu'elles représentent une ressource naturelle locale à valoriser. Une incorporation de la spiruline dans le couscous artisanal dont l'objectif principal porte sur l'étude des effets de l'incorporation de la spiruline dans la semoule de blé dur pour l'obtention d'un couscous enrichi (DOUMANDJI et al, 2011).

## **8-Différents secteurs d'activité utilisant la spiruline**

### **8-1-Industrie agroalimentaire**

#### **8-1-1-Complément alimentaire**

La spiruline complément alimentaire de plus en plus utilisé, et avant tout connue et cultivée pour son contenu en protéine (70% de l'extrait sec) ; parallèlement riche en fer en zinc, des minéraux dont manquent souvent les végétariens, ainsi qu'en vitamines du groupe B. Inversement, elle est pauvre en matière grasse, ce qui rapproche sa composition de celle d'un poisson maigre (FRICKER et CYNOBER, 2010)

La supplémentation en spiruline (3 à 5 g par jour de façon continue) permet d'éviter les éventuelles carences liées aux régimes végétariens et végétaliens mal conduits. La spiruline, grâce à son apport naturel et équilibré en vitamines, minéraux et oligo-éléments, peut donc être considérée comme une véritable alliée pour les personnes qui veulent entamer un régime. De plus, par son effet détoxifiant (lié notamment à la présence de chlorophylle), elle aide à éliminer les toxines (CRUCHOT, 2008).

#### **8-1-2 -Colorant alimentaire**

Grâce aux pigments naturels que l'on sait extraire des spirulines, on obtient des colorants naturels utilisables notamment dans l'industrie alimentaire.

Trois pigments peuvent être extraits (La **phycocyanine**, La **chlorophylle** Les **caroténoïdes**) mais actuellement c'est le La **phycocyanine** qui est le plus utilisé dans cette indication ; les deux autres pigments sont plutôt utilisés dans le domaine pharmaceutique :

- **Laphycocyanine** : c'est un pigment retrouvé exclusivement chez les cyanobactéries, la spiruline étant celle qui en renferme le plus (10 à 15 %). Cette substance hydrosoluble donne une couleur bleue lorsqu'on la mélange à de l'eau. Au Japon, divers aliments renfermant de la phycocyanine extraite de spirulines, sont commercialisés sous la marque "Linablue" créée par le groupe Dainippon Ink and Chemicals ; on peut citer par exemple des chewing-

gums, sorbets, sucettes glacées, bonbons, boissons sans alcool, gelées et produits laitiers (HENRIKSON, 2000) .

- **Lachlorophylle** :La spiruline, avec sa teneur de 1 % en chlorophylle a, présente un meilleur rendement. Néanmoins, elle reste encore peu utilisée en Europe (CRUCHOT,2008).

## **8-2-Industrie cosmétique**

La phycocyanine extraite de la spiruline est aussi utilisée dans le domaine de la cosmétologie, notamment pour la variété de couleurs qu'elle peut donner lors de son mélange avec d'autres composés. Depuis de nombreuses années, elle rentre ainsi dans la composition de rouges à lèvres et de crayons pour souligner les yeux, disponibles sur le marché asiatique. En Europe, le marché est moins développé car plus récent (HENRIKSON., 2000).

La Spiruline est utilisée aussi dans les masques cryogéniques et crèmes anti-âge, par son action sur le renouvellement cellulaire et la tonicité des tissus (SPOLAORE et al, 2006in CHARPY et al, 2008).

Par ailleurs, la spiruline renferme une teneur élevée en acide  $\gamma$ -linolénique ,cet acide gras essentiel polyinsaturé exerce une action thérapeutique importante sur le derme : atténuation de certains phénomènes inflammatoires (notamment après des brûlures) et amélioration de la qualité des cicatrisations cutanées. Cet acide étant très rare dans la nature (onagre, bourrache, cassis), son extraction à partir de la spiruline pourrait constituer une offre intéressante pour l'industrie cosmétique (CRUCHOT,2008).

## **8-3-Médecine**

### **8-3.1- Diagnostic biologique**

Des pigments photosynthétiques phycobilibrotéines, telles que la phycoérythrine (rouge) et la phycocyanine (bleue) sont utilisés comme marqueurs fluorescents dans le dépistage de certaines maladies (cancer, détection dans les dons de sang d'une éventuelle contamination par le virus du SIDA) et dans le domaine de la recherche médicale. Ce sont en effet des colorants fluorescents stables, hydrosolubles et extrêmement sensibles(HENRIKSON, 2000).

### **8-3-2-Aspect thérapeutique :**

Les polysaccharides de la spiruline sont impliqués dans la mise en valeur immunitaire antivirale (y compris la VIH ) et des propriétés anticancéreuses. Ces autres composantes nutritionnelles travaillent en synergie et de solliciter les différents effets de la spiruline qui ont été bien documenté dans des études cliniques chez les humains in vitro, et des animaux.

Des effets immunomodulation, antioxydants , anti-inflammatoires, anti- vieillissement,et des effets antiviraux, anticancéreux et des effets de protection contre les maladies cardiovasculaires (BELAY,2008).

Une étude intitulée «Utilisation de la spiruline en milieu chirurgical au Centre Hospitalier de Référence Régional (CHRR) Atsimo Andrefana – Toliara Madagasikara » s'étalant de juin 2007 au mois de mars 2008 a pour but de mettre en évidence les effets de la spiruline sur la cicatrisation des plaies chirurgicales. Sont inclus dans cette étude les pathologies chirurgicales digestives admises en réanimation nécessitant un acte chirurgical ou non. La méthode consiste en un apport de spiruline par voie orale : 5 à 10g par jour en pré-opératoire et/ou en postopératoire. De bons résultats ont été obtenus dans 96% des cas avec reprise normale du transit intestinal vers le 3ème jour et une bonne cicatrisation des plaies opératoires. Il n'y avait pas de mauvais résultat. Un malade a présenté un abcès pariétal, il s'agit d'une péritonite par perforation utérine du post-avortum. Tout était rentré dans l'ordre vers le 15ème jour post-opératoire. La Spiruline reste toujours un adjuvant thérapeutique de choix pour faire réussir notre acte chirurgical surtout en matière de chirurgie digestive (RAZANAKOLONA et RASOAMIARAMANANA, 2008)

### **8-3-3- Recherche génétique**

La spiruline contient beaucoup d'enzymes. Parmi elles, trois endonucléases de restriction ont été découvertes. Elles agissent comme des ciseaux pour couper l'ADN des microbes envahisseurs. Les chercheurs pensent que c'est grâce à ces enzymes que la spiruline existe depuis plus de trois milliards d'années : elle s'en est probablement servie pour dégrader l'ADN d'ennemis écologiques (bactéries, virus) qui avaient pénétré dans ses cellules (HENRIKSON, 2000) .

### **9-Propriétés thérapeutiques la spiruline sur la santé**

- **Effets contre l'hyperlipidémie**

Plusieurs chercheurs ont confirmé ces hypothèses par des expérimentations sur l'homme. , un régime régulier à la Spiruline de 4,2 g / jour pendant 4 semaines engendrait une diminution de 4,5 % du cholestérol au bout d'un mois et une baisse significative de dépôts graisseux dans les artères. Ce phénomène serait dû à l'augmentation de l'activité d'une enzyme, la lipoprotéine lipase, enzyme clé dans le métabolisme des triglycérides et des lipoprotéines (NAKAYA et al, 1988).

- **Effets sur le système immunitaire et lutte contre le cancer**

Une consommation journalière de phycocyanine permet de maintenir ou d'accélérer les fonctions des cellules, et ainsi de prévenir des tumeurs malignes comme les cancers, ou d'inhiber leur croissance ou leur récurrence.

De plus, Schwartz et Sklaront prouvé en 1987 que le  $\beta$ -carotène extrait de Spiruline inhibait la carcinogenèse chez les hamsters. Ils ont démontré plus tard que l'extrait de Spiruline prévenait le développement de tumeurs, à très faibles doses. D'après ces auteurs, les réponses immunitaires seraient stimulées pour détruire sélectivement les développements initiaux de cellules malignes (SCHWARTZ et SHKLAR, 1987).

- **Effets contre la toxicité des reins**

L'ajout de 30% de Spiruline dans le régime alimentaire des rats ayant une forte teneur en mercure fait diminuer les taux de ces indicateurs, par l'intermédiaire de la diminution de l'activité de certaines enzymes (alcaline phosphatase et glutamic-oxalo-acétate transaminase). Il est suggéré que la phycocyanine serait responsable de cette diminution d'activité et donc de la détoxification des reins (YAMANE et al, 1998).

- **Effets sur la flore intestinale**

Tsuchihashi a montré en 1987 que l'ajout de 5% de Spiruline dans l'alimentation augmentait de 3 fois la population des *Lactobacillus* des intestins de rats. L'ajout de Spiruline dans l'alimentation augmentait la population des *Lactobacillus* des intestins. Ces derniers sont connus pour leur capacité à faciliter la digestion et l'absorption des nutriments, protéger contre les infections et stimuler le système immunitaire chez les malades du SIDA (TSUCHIHASHI et al, 1987).

- **Effets contre l'anémie**

La spiruline contient plus de fer que tout autre aliment, et est 3 fois plus assimilable que celui contenu dans les légumes et la viande. En comparant la biodisponibilité de ce minéral avec celle du sulfate de fer, il a été remarqué que la spiruline permettait une absorption de 60% de fer en plus que le complément chimique. Des études ont démontré qu'en donnant 4g de spiruline par jour pendant 30 jours à des femmes anémiées suite à des cures d'amaigrissement, le sang avait récupéré 21% d'hémoglobine en plus (BELAY et al, 1993).

- **Effets contre le diabète, l'obésité et l'hypertension**

D'après TAKAÏ et al. (1991), la fraction soluble dans l'eau de la Spiruline a la propriété de diminuer le taux de glucose dans le sérum. Par ailleurs, Becker et al, ont montré en 1986 qu'un complément en Spiruline de 2,8 g / 3 fois / jour pendant 4 semaines entraînait une réduction du poids corporel chez les obèses. IWATA et al (1990), ont remarqué une suppression de l'hypertension chez les rats, suite à un apport de Spiruline (BELAY et al, 1993).

- **Effets contre une déficience chronique en vitamine A**

Une étude, sponsorisée par le gouvernement indien, portant sur 5 000 enfants indiens d'âge préscolaire, a démontré l'étonnante efficacité d'une dose quotidienne unique d'1 g de spiruline sur la déficience chronique en vitamine A après 150 jours de supplémentation en spiruline. Cette étude montre que de très faibles doses de spiruline suffisent à réduire considérablement les affections oculaires et les risques de cécité consécutives à la déficience en vitamine A chez l'enfant (SESHADRI., 1993).

## II. **Maladie cœliaque**

### **1-Définition de la maladie cœliaque**

La maladie cœliaque est une entéropathie auto-immune chronique sensible au gluten qui correspond à une réponse immunitaire inappropriée aux protéines du gluten survenant chez un sujet génétiquement prédisposé elle est due à une immunisation contre un peptide sans doute commun à la gliadine du blé, à la sécaline du seigle et à l'hordéine de l'orge ainsi que d'autres céréales tels que l'épeautre et blé de khorassan ainsi que le triticale et pouvant se traduire sur le plan histologique par une anomalie pouvant aller d'une discrète lymphocytose intra épithéliale à une atrophie villositaire totale du duodénum, entraînant une malabsorption du fer, du calcium, des vitamines A, D, E et K ainsi que de l'acide folique et d'autres manifestations cliniques, les plus courantes sont les douleurs abdominales, la diarrhée chronique, un amaigrissement, l'ostéoporose, l'anémie et l'asthénie (ANONYME, 2009; CERF-BENSUSSAN et JABRI, 2001 ; KERFAL, 2012 ;WEBER, 2012 ; ANONYME, 2013 ).

Cependant, il existait des formes atypiques silencieuses dans lesquelles les symptômes gastro-intestinaux étaient absents, laissant place à des signes évocateurs comme l'anémie, l'ostéoporose, la petite taille ou la stérilité (WEBER ,2012).

### **2-Facteurs d'apparition**

La maladie cœliaque est une pathologie multifactorielle. Sa survenue dépend obligatoirement de l'exposition orale au gluten, mais aussi de facteurs complémentaires comme la prédisposition génétique, de facteurs infectieux mal connus ou de l'introduction trop précoce du gluten dans l'alimentation chez l'enfant (WEBER , 2012).

#### **A. Le gluten**

Le rôle du gluten dans la pathogénie de la maladie cœliaque a été découvert par Dicke en Hollande lors de ruptures d'approvisionnement en farine de blé au cours de la guerre de 1940-1945. Le gluten est la masse de protéines, leur fraction soluble dans l'alcool constitue les prolamines, composants toxiques dans la maladie cœliaque et présentes en quantités importantes dans :

- le blé, ou les prolamines sont des alpha-gliadines ;
- l'orge, ou les prolamines sont des hordéines ;
- le seigle, ou les prolamines sont des secalines ;
- le triticale, hybride synthétique de blé et de seigle ;
- l'avoine, ou les prolamines sont des avenines(; CERF-BENSUSSAN ET JABRI ,2001 ; WEBER, 2012 ).

## **B. autres facteurs**

En Suède, une intéressante étude faite par ASCHER, a démontré que Les sujets intolérants au gluten ont été, en moyenne, allaités deux mois de moins que les sujets non intolérants. L'allaitement maternel aurait donc un effet protecteur. L'association de gluten pendant l'allaitement maternel réduirait le risque de maladie cœliaque (CERF-BENSUSSAN ET JABRI, 2001 ;WEBER, 2012 )

## **C. Facteurs génétiques**

La maladie est étroitement liée au complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) encore appelé HLA .Des études de concordance entre jumeaux et la constatation d'agrégation familiale ont permis de suspecter le phénomène de prédisposition génétique. La fréquence de la maladie cœliaque chez les parents de premier degré de sujets atteints est de 10% et le taux de concordance chez les jumeaux monozygotes est de 70% a 90% contre 10% a 30% chez les jumeaux dizygotes ( CERF-BENSUSSAN et JABRI, 2001;WEBER, 2012 ).

### **3-Signes cliniques de la maladie cœliaque**

La maladie cœliaque est progressivement passée du statut de maladie digestive rare du nourrisson à celui de maladie systémique fréquente touchant tous les âges de la vie.

Les signes cliniques de la maladie sont de deux types :

- des signes digestifs comportant des diarrhées, avec alternance ou non de constipation,vomissements,un amaigrissement, des douleurs abdominales ou une dyspepsie,
- des signes extradigestifs comme des perturbations métaboliques dues à la malabsorption, un retard de croissance chez l'enfant, une ostéoporose, une asthénie ,une anémie ferriprive, une hypovitaminose K entraînant des troubles de la coagulation, retard de croissance, retard psychomoteur, , neuropathie, etc.. (SEIGNALET,2004 ;WEBER, 2012 ).

Selon SEIGNALET(2004), la maladie cœliaque peut se compliquer en :

- **De cancers**, dont la fréquence atteint 10 % dans les formes non traitées, se partageant à peu près également en lymphomes malins non hodgkiniens et en carcinomes.
- **D'ulcérations** du duodénum, du jéjunum ou de l'iléon.
- **De sprue collagène**, caractérisé par le dépôt sous la muqueuse du grêle d'une bande de collagène.

### **4-Maladies concomitantes possibles**

Chez les personnes atteintes de maladie cœliaque, d'autres maladies auto-immunes se manifestent fréquemment, telles que le diabète de type 1 ou certaines maladies du foie et de la glande thyroïde. La dermatite herpétiforme ou maladie de Dühring, une affection cutanée rare provoquée par le gluten, se caractérise par l'apparition par phases de papules vésiculaires provoquant de fortes démangeaisons. Ces papules

sont réparties sur tout le corps, notamment au niveau des genoux et des coudes, même si le cuir chevelu et le fessier sont fréquemment atteints eux aussi. La dermatite herpétiforme se soigne également par un régime alimentaire sans gluten (ANONYME, 2013).

### **5-Traitement de la maladie**

Il n'existe aucun traitement médicamenteux contre la maladie. Le traitement demeure exclusivement diététique. Seule le régime sans gluten strict permet de diminuer, voire supprimer, les symptômes, de pallier les carences et de prévenir d'éventuelles complications.

Autrement dit, les personnes touchées doivent éviter rigoureusement toutes les sortes de céréales contenant du gluten et les aliments produits à partir de celles-ci.

Le régime nécessite d'exclure de l'alimentation tous les aliments naturels ou industriels, et même quelques médicaments contenant des produits dérivés du blé, du seigle, de l'orge. Le riz et le maïs étant permis, la farine de blé peut être remplacée dans de nombreuses circonstances par la maïzena ou la farine de riz (WEBER, 2012 ; OLIVES, 2013 ; ANONYME, 2013).

L'élimination complète du gluten de l'alimentation permet à l'intestin de guérir ainsi qu'aux carences nutritionnelles et aux autres symptômes de se résorber. En général, les enfants en guérissent plus rapidement que les adultes. Observer un régime sans gluten sévère réduit aussi le risque de plusieurs des complications à long terme relatives à la maladie coéliqua non traitée. (WEBER, 2012 ; ANONYME, 2013)

L'adaptation à un régime alimentaire sans gluten peut se révéler difficile. En effet, il s'agit de savoir quels sont les aliments qui contiennent du gluten ainsi que d'en repérer les sources cachées, que ce soit dans les produits alimentaires ou dans les médicaments. Elle exige en outre plusieurs changements au mode de vie puisque plusieurs aliments consommés couramment doivent être évités, dont les pâtes alimentaires, la plupart des céréales pour petit-déjeuner et certaines collations, la plupart des pains et d'autres denrées de boulangerie, notamment les gâteaux, les biscuits, les beignets, les bagels, etc. La farine et l'amidon de blé sont aussi fréquemment ajoutés comme épaississant ou stabilisant dans les soupes, les sauces et les viandes et poissons transformés, y compris dans les saucisses fumées, les saucisses et les simili-fruits de mer. Pour éviter les sources cachées de gluten, la connaissance des sources potentielles de gluten et la lecture attentive de la liste d'ingrédients sont essentielles (ANONYME, 2009 ; OLIVES, 2013).



**Figure 03:** le symbole sans gluten

## **Le Cas d'avoine**

Jusqu'à récemment, l'avoine a été estimée qu'elle pouvait avoir des effets négatifs sur la santé des individus atteints de la maladie cœliaque. Toutefois, 95% des malades, l'avoine n'est pas toxique. Il existe cependant un petit sous-groupe de patients pour lesquels elle peut être nocive. On ne peut garantir l'absence de contamination de l'avoine par le blé en raison des rotations de cultures (alternance blé/avoine) et de l'utilisation des machines de récoltes et de stockage. Il est donc préférable de déconseiller l'avoine au patient bien qu'elle soit génétiquement plus proche du maïs et du riz que du blé (ANONYME, 2009 ; CERF-BENSUSSAN et JABRI, 2001 ; WEBER, 2012).

## **6 -Prévalence dans le monde**

La prévalence varie considérablement à travers les différentes régions du monde. Alors que la maladie cœliaque est relativement fréquente dans les pays occidentaux, elle est pratiquement inexistante en Asie et en Afrique. Les données de fréquence dépendent également si le diagnostic a été posé sur la base des symptômes cliniques ou d'un dépistage sérologique. En considérant uniquement les cas symptomatiques, la prévalence varie entre 1:10 000 (Danemark, États-Unis) et 1:300 (Suède, Grande-Bretagne). À l'échelle mondiale, la prévalence moyenne s'élève à env. 1:3350. En tenant également compte des cas dépistés par dosage des anticorps, la prévalence augmente à 1:500 (Allemagne, Danemark), à 1:110 (États-Unis, Grande-Bretagne) et à 1:270 en moyenne dans les pays occidentaux (AEPLI et CRIBLEZ, 2011).

### **III. Epidémiologie en algérie**

Selon BENATALLAH(2009), en Algérie, une insuffisance de l'information est notée. Les seules données disponibles sont celles de BOUDRAA *et al.*, (1996) ainsi que BOUDRAA et TOUHAMI (1997) qui, pour la ville d'Oran, annonçaient une incidence moyenne sur une période de 20 ans de 2‰ naissances vivantes et, en fin de l'année 1994, une prévalence de 21,1‰ chez des enfants de moins de 15 ans. En se basant sur ces données, ces chercheurs placent les pays du Maghreb parmi les pays à incidence moyenne et certainement à prévalence record compte tenu de la pyramide des âges de ces derniers (BENATALLAH, 2009).



### **III .Le couscous**

#### **1-Etymologie du mot couscous**

L'origine berbère du mot couscous ne fait pratiquement pas de doute, même si sa formation exacte présente quelques obscurités. En effet, le terme, sous la forme de base *seksu*, est attesté dans quasiment tous les dialectes berbères algéro-marocains : kabyle, chleuh, rifain. Les dialectes berbères sahariens (Touareg, Ghadames) présentent une forme légèrement différente : *keskesu* (CHAKER, 1995 ; BEJIBECHEUR , 2008 ; FRANCONIE et al ,2010).

En Afrique de l'Ouest, le couscous est fabriqué à partir de sorgho, de maïs, de mil ou de fonio (GALIBA et al, 1987 ; N'DIR et GNING, 1989).

Dans chaque région, on utilise un grain adapté à la terre et au climat. En Afrique noire, on cuisine le couscous avec du mil ou du millet, sur les hauts plateaux du Sahara avec de l'orge et au Moyen Orient avec le boulgour. ( FRANCONIE et al ,2010).Actuellement, on fait aussi du couscous de riz et de maïs (IBBO DADDY, 1997 ; LUXEREAU, 2002).

#### **2-Définition du couscous**

Le couscous, c'est le produit composé de la semoule de blé dur (*Triticum durum*) de différentes granulométries dont les éléments sont agglomérés en ajoutant de l'eau potable et qui a été soumis à des traitements physiques tels que le roulage la cuisson , le séchage et le tamisage. (normes de *codex alimentarius*202-1995 ;JEANTETet al , 2006).L'appellation «Couscous» peut être attribuée à des produits destinés aux mêmes usages mais préparés à partir d'autres céréales que le blé dur, à condition que cette appellation soit immédiatement suivie d'une spécification des céréales utilisées (normes de *codex alimentarius*202-1995).

Appelé Seksou, ksaksou encore ta'aam, le couscous est un aliment issu de la seconde transformation des céréales, notamment le blé dur (*Triticum durum*). Toutefois, d'autres céréales peuvent être employées (maïs, riz, orge, etc.)(CLAUDON,2010).

A Tombouctou on parle de *kuskusu*quelle que soit la céréale, en précisant s'il s'agit de couscous blé, de riz ou de mil (HAÏDARA, 2005)

#### **3 -Mode de fabrication**

Le couscous est préparé à partir d'un mélange de semoule grosse et de semoule fine. Il peut aussi être préparé à partir de la semoule dite «grosse-moyenne» (NORME DE CODEX 202- 1995).

Le couscous est une semoule étuvé et agglomérée en granule de 1 à 2 millimètres de diamètres .Il est fabriqué à base de semoule de blé dure par un procédés de industriel ou artisanale (BOUDREAU et GERMAIN , 1992 ).

### **3-1-Procédé industriel**

Selon BOUDREAU, GERMAIN (1992) et FEILLET(2000) la fabrication de couscous industriel repose sur les étapes suivantes :

- le mélange d' un tiers de grosse semoule (630 à 800 micromètre) et de deux tiers de fines semoule (250 à 630 micromètre) ;
- l'hydratation en continu de la semoule et de l'eau 30 litre d'eau pour 100 Kilos de semoule et par fois de sel (0,3-0,5%) ;
- le roulage des particules pour les agglomérer en grain de dimension variable, habituellement comprise entre 500 et 800 micromètre ,par fois plus. Cette opération est réalisée dans des cylindres alvéolés rotatifs (des rouleurs) ou du simple S plansichter. Les agglomérés les plus gros sont envoyés sur la mélangeuse ;
- la cuisson à la vapeur à 180°C pendant une dizaine de minutes ;
- le séchage qui s'effectue en deux stades ,le premier à 65°C pendant 120 minutes et le second à 55°C pendant 270 minutes pour atteindre une humidité finale de 12 à 14% ;
- un refroidissement puis calibrage à l'aide d'un plansichter ;
- un recyclage des grains trop fins ou trop gros

### **3-2-La fabrication artisanale :**

Traditionnellement la préparation de la graine de couscous se fait de la manière suivante : « les femmes préparent la graine en la roulant à la main avec beaucoup de dextérité. Semoule de blé dur et farine sont placés dans un plat en bois ou en terre cuite, avec un peu d'eau froide salée ; en roulant la semoule, la farine s'agglutine progressivement autour de chaque grain. Le grain obtenu est ensuite passé au tamis, ce qui permet de trier les grains selon leur grosseur cette opération terminée, la graine est prête à la cuisson » ( JEANT et al , 2006).

Le principe de la fabrication traditionnelle du couscous est presque le même dans toutes les régions de l'Algérie. Cependant quelques différences, sont notées et constatées :

\*La Précuisson de la semoule pratiquée dans certaines régions

\* La nomination des tamis et l'ouverture de mailles utilisés

\*L'ordre chronologique des étapes surtout les points d'addition de l'eau et de la semoule fine.

Selon BOUCHEHAM (2009), les différences sont non seulement dues à la diversité du savoir-faire de chaque ménagère mais aussi à des défaillances dans la description du protocole de fabrication

Les tamis utilisés dans la fabrication du couscous ne sont pas des tamis normalisés mais des grilles en fibres métalliques d'ouvertures de mailles différentes.

Sur le marché de Blida nous avons trouvé les tamis suivants :

- *Kessar ettoub*: d'ouverture de maille de 2000µm à 2500µm ; sert à émettre les grosses particules formées du couscous au cours de roulage

- *Kherredj*: d'ouverture de maille de 1600 µm à 2000µm ; sert à calibrer les grains de couscous

- *Reffad*: d'ouverture de maille de 1000µm à 1100µm ; sert à séparer les grains de couscous formés

- *Takida*: d'ouverture de maille de 500µm à 800 µm ; sert à séparer les grains de couscous de grain et semoule après séchage

La nomination est différente par rapport aux régions de l'est de l'algerie ;

*Kessarettoub* : *Sekkat* ; *Kherredj* : *Mâaoudi* ; *Takida* : *Dekkak* ; *Reffad*: il porte le même nom .

### **3-2-1-Précuisson de la semoule**

C'est un prétraitement à la vapeur d'eau de la grosse semoule pendant quelques minutes (9min environ) (BENATALLAH *et al.*, 2006). Cette étape est connue dans certaines régions de l'Algérie ; elle est réalisée dans le but d'éviter la formation des grosses boulettes pendant le roulage qui sont considérées comme des pertes ; donc, augmenter le rendement en couscous (BOUCHEHAM, 2009).

### **3-2-2-Roulage**

D'après l'analyse des données bibliographiques ainsi que les termes utilisés par les ménagères, nous avons permis de dire que la formation du grain de couscous passe par trois étapes indépendantes.

#### **➤ La première étape**

La grosse semoule est mise dans un grand plat en bois, *guessâa*. Cette semoule est arrosée d'eau et remuée des doigts à demi fléchis, des deux mains, formant râteau pour répartir également l'humidité dans la masse. Une désagrégation des grumeaux ayant pris naissance au cours de l'hydratation- malaxage de la semoule, à l'aide d'un tamis, est indispensable (BAHCHACHI, 2002 ; BENATALLAH *et al.*, 2006). Cette étape est négligée dans plusieurs travaux où on passe directement au mélange des trois ingrédients : grosse semoule, fine semoule et l'eau. Elle est très importante, d'après BOUCHEHAM .N, (2009) , car c'est à ce niveau que le noyau du grain de couscous est formé et la qualité couscoussière de la semoule est jugée donc c'est une étape de « grenaison ».

Le tamis le plus cité pour cette opération est le *sekkat* mais d'autres tamis peuvent être utilisés (*mâaoudi*, *reffad*...) ; en effet, pour chaque ménagère il s'agit de suivre les traces de sa famille. Le tamis *sekkat* est celui qui possède la maille la plus large dans la gamme des tamis utilisée dans la fabrication traditionnelle du couscous (BOUCHEHAM , 2009).

#### **➤ La deuxième étape**

Cette étape est caractérisée par l'addition tantôt de l'eau, tantôt de la semoule fine. C'est un grossissement des grains formés pendant la première étape. L'eau est pour humidifier les grains et faciliter l'adhésion de la semoule fine. A ce stade la rouleuse utilise le plat des mains et avec un mouvement répété d'essuie-glace, applique une certaine force sur les particules qu'elle roule pour avoir des gains compacts et de forme bien ronde.

Les grains de couscous ainsi formés sont séparés par le tamis *mâaoudi*(refus) et mise à part pour éviter qu'ils prennent des tailles excessives. Le passant de ce

dernier subit les mêmes opérations (addition de l'eau, de la semoule fine, roulage et tamisage) jusqu'à la transformation presque totale du produit de la première étape en couscous (BAHCHACHI, 2002 ; YOUSFI, 2002 ; DEROUCHE, 2003). Donc c'est une étape de « mise en forme ».

#### ➤ La troisième étape

Les grains obtenus (le couscous) sont passés au *sekkat* puis au *mâaoudi* pour calibrer les grains, briser ceux qui sont trop grands ou qui se sont agglutinés. Pour réduire les grumeaux qui peuvent se former au fond du tamis, on y jette un peu de semoule fine et l'on roule sous la paume de la main. Pendant cette étape seule la semoule fine est ajoutée.

Enfin le couscous est passé au tamis *reffad* pour éliminer la semoule restée libre ou les grains trop fins qui sont roulés à nouveau dans la *guesâa* et nourris des dernières traces de semoule fine. C'est une « finition » des grains de couscous formés.

Cette étape constitue le point le plus commun entre les différents travaux, elle est citée et décrite presque de la même façon. ( BAHCHACHI, 2002 ; YOUSFI, 2002 ; DEROUCHE, 2003 ; BENATALLAH *et al.*, 2006).

### 3-2-3-Précuisson du couscous

Un traitement, avant séchage de produit, à la vapeur pendant environ 10 min dans un couscoussier semble utile pour permettre le maintien la forme du couscous roulé. Le gâteau du couscous formé à la fin de cuisson est émotté et tamisé à l'aide du *sekkat* (BAHCHACHI, 2002 ; YOUSFI, 2002 ; DEROUCHE, 2003 ; BENATALLAH *et al.*, 2006;).

### 3-2-4-Séchage

En vue d'assurer sa conservation, le séchage constitue la dernière opération de la fabrication du couscous. Il consiste à un séchage en couche mince à l'air libre soit directement au soleil soit à l'ombre. Selon l'enquête de YOUSFI (2002) et de DEROUCHE (2003) la majorité des ménagères préfèrent le séchage à l'ombre pour obtenir un produit propre et plus clair. A la fin du séchage le couscous est repris au tamis *dekkak* pour être nettoyé de semoule, poussière (DEROUCHE, 2003).

Le couscous est ensuite classé en *mesfouf*, couscous fin et couscous moyen avant son conditionnement dans des sacs en tissus (BAHCHACHI, 2002).

YOUSFI (2002), en se basant sur l'analyse de 311 échantillons de couscous artisanal collectées au niveau de l'est algérien, a attribué un intervalle granulométrique pour chaque catégorie de couscous : *mesfouf* [720-525[ $\mu\text{m}$ , couscous fin [1110-720[ $\mu\text{m}$  et couscous moyen refus de tamis 1110  $\mu\text{m}$ .

## 4-Qualité du couscous :

#### **4-1-Qualité nutritionnelle**

La qualité nutritionnelle d'un aliment dépend de ses caractéristiques propres, c'est-à-dire de sa composition mais également des conditions dans lesquelles il est préparé et consommé (DEROUICHE, 2003). Par ailleurs, le couscous fournit une part importante de l'apport énergétique de la ration (350 kcal / 100g de ms) vue sa richesse en glucides (75g/100g) (DAGHER, 1991).

#### **4-2-Qualité hygiénique**

Selon le *Codex alimentarius* (norme de *codex* 202-1995), le couscous doit être exempt de microorganismes susceptibles de se développer dans le produit dans des conditions normales d'entreposage et ne doit contenir aucune substance provenant de micro-organismes en quantités pouvant présenter un risque pour la santé.

#### **4-3-Qualité organoleptique**

Un couscous de qualité est défini par la majorité des consommateurs comme étant un produit fin, de granulométrie homogène et de couleur jaune clair. A l'état hydraté et cuit, les grains de couscous doivent être intègres et individualisés. A sa consommation, le couscous ne doit pas apparaître asséché ni donner l'impression d'un produit manqué de sauce ou de cuisson (GUEZLANE et ABECASSIS, 1991; YOUSFI, 2002; DEROUICHE, 2003).

Les critères retenus pour l'évaluation de la qualité sont : la granulométrie du couscous, sa couleur, sa texture, son gonflement, et sa prise en masse après réhydratation (GUEZLANE et ABECASSIS, 1991 ; AFNOR NF V 50-001 1992).

La qualité organoleptique du couscous regroupe la qualité commerciale qui concerne l'aspect du couscous (couleur, granulométrie, forme des particules, etc.) et la qualité culinaire qui représente le comportement des grains du couscous au cours de la cuisson (gonflement, prise en masse, délitescence, fermeté, etc.)

##### **4-3-1-La qualité commerciale :**

###### **➤ Couleur du couscous**

Les grains de couscous sont caractérisés par une couleur jaune-claire (GUEZLANE, 1993). La couleur jaune des pâtes alimentaires, faites à partir de la semoule de blé dur, est due à la présence de la lutéine de caroténoïdes principalement les xanthophylles (MEZROUA, 2011). La couleur des grains de couscous dépend en grande partie de la couleur initiale de la semoule de blé dur (DEBBOUZ *et al.*, 1994).

###### **➤ Granulométrie des particules**

Le *codex alimentarius* (norme de *codex* 202-1995) indique que la granulométrie de couscous doit être comprise entre 630 et 2000 µm.

Il existe un effet très hautement significatif du procédé sur la granulométrie du couscous. Certains procédés technologiques semblent mieux adaptés que d'autres et la conduite des opérations de fabrication au sein d'un même procédé influe sur la granulométrie du couscous (YETTOU, 1998).

### ➤ **Forme des particules**

Selon l'enquête réalisée par DEROUICHE (2003), la qualité du couscous sec est présentée dans la granulométrie homogène, la forme arrondie et la couleur jaune claire.

Les grains de couscous artisanal sont des particules irrégulières, avec une forme plus ou moins sphérique et de surface rugueuse (DEBBOUZ et DONNELLY, 1996). Le couscous industriel présente des surfaces rugueuses et des formes hétérogènes (GUEZLANE *et al.*, 1986 ; Boudreau *et al.*, 1992). Cependant d'après DEBBOUZ et DONNELLY (1996), Les grains de couscous industriel sont des particules plus régulières avec une forme plus homogène et plus sphérique et de surface lisse.

### ➤ **Masse volumique de couscous**

La masse volumique est mesurée en remplissant un cylindre gradué (GUEZLANE, 1993 ; DEBBOUZ et DONNELLY, 1996). La masse volumique des grains est influencée par l'espace intergranulaire (SCOTTI, 1984) qui est influé par la forme des particules et leur hétérogénéité de taille (GUEZLANE, 1993). Les valeurs de la masse volumique s'étendent entre 0,60 g/cm<sup>3</sup> pour le couscous artisanal, et 0,79 g/cm<sup>3</sup> pour le couscous industriel (DEBBOUZ et DONNELLY, 1996). DEROUICHE (2003) a souligné que le couscous de la semoule supérieure présente une masse volumique légèrement supérieure à celle du couscous de la semoule courante, elle est de l'ordre de 0,75 g/cm<sup>3</sup> pour le couscous issu de la semoule supérieure (DEROUICHE, 2003 ; BOUCHEHAM, 2009) et de 0,71 g/cm<sup>3</sup> pour son homologue de la semoule courante.

### **4-3-1-La qualité culinaire**

La qualité culinaire d'un produit alimentaire correspond au comportement de l'aliment pendant et après sa cuisson (YETTOU, 1998). Par ailleurs, selon le même l'auteur, la cuisson des produits céréaliers a pour but de gélatiniser l'amidon pour le rendre hydrophile, de modifier l'aspect textural des produits de manière à leur conférer les caractéristiques souhaitées et d'élever la température des produits.

La qualité culinaire de couscous est appréciée par sa tenue à la cuisson telle que reflétée par l'état de surface qui doit être non collant et par la délitescence qui traduit la désintégration des particules de couscous (BOUDREAU et GERMAIN, 1992). Par ailleurs, GUEZLANE (1993) a indiqué que le couscous de bonne qualité culinaire doit présenter un bon gonflement, une consistance qui n'est pas trop ferme, un aspect moelleux, une facilité à la mastication.

## IV .Le riz

### 1-Origine et extension du riz

On cultivait le riz en Chine il y a plus de 6000 ans. Le riz est originaire d'espèces sauvages indigènes de l'Asie du sud-est où on en retrouve encore de nos jours. Il fut introduit en Grèce par les voyageurs arabes et en Inde par Alexandre le Grand vers 326 avant notre ère. Les Maures introduisent le riz en Espagne et l'apportèrent en Amérique du Sud au début du XVIII<sup>e</sup> siècle. Le riz fut rapporté en France par les Croisés. Le nom scientifique *Oryza* le désignant vient du grec et signifie «riz» dans cette langue. Le riz est la céréale la plus consommée à travers le monde après le blé, il demeure toujours la principale céréale cultivée en Asie ; même si d'autres pays sont devenus d'importants producteurs, la presque totalité de la production mondiale (94%) est concentrée en Orient ; ainsi la Chine, l'Inde, l'Indonésie, le Bangladesh et la Thaïlande sont parmi les grands producteurs de riz au monde (FORTIN, 1996).

Le riz est une graminée annuelle du genre *Oryza* qui comporte plus d'une vingtaine d'espèces dont deux sont cultivées :

- *Oryza sativa* en Asie avec trois sous espèces : *indica*, *japonica* et *javanica* qui se différencient essentiellement par les caractéristiques physiques du grain ; les *indica* donnent des riz à grain long, les *japonica* des riz à grain court, collants ou glutineux à la cuisson.
- *Oryza glaberrima* en Afrique Occidentale (FAO ,1990 ; GODON .et WILLM .,1998).

### 2-Description de grain de riz

\*Le **riz** se présente en grains entiers et en brisures provenant de l'espèce *Oryza sativa* L.

\*Le **riz** (grain vêtu : **paddy**) est un riz qui a conservé sa balle après battage.

\*Le **riz décortiqué** (riz brun, riz cargo ou riz complet) est un riz paddy dont la seule balle a été éliminée. Le décortiquage et la manutention peuvent entraîner quelques pertes de péricarpe.

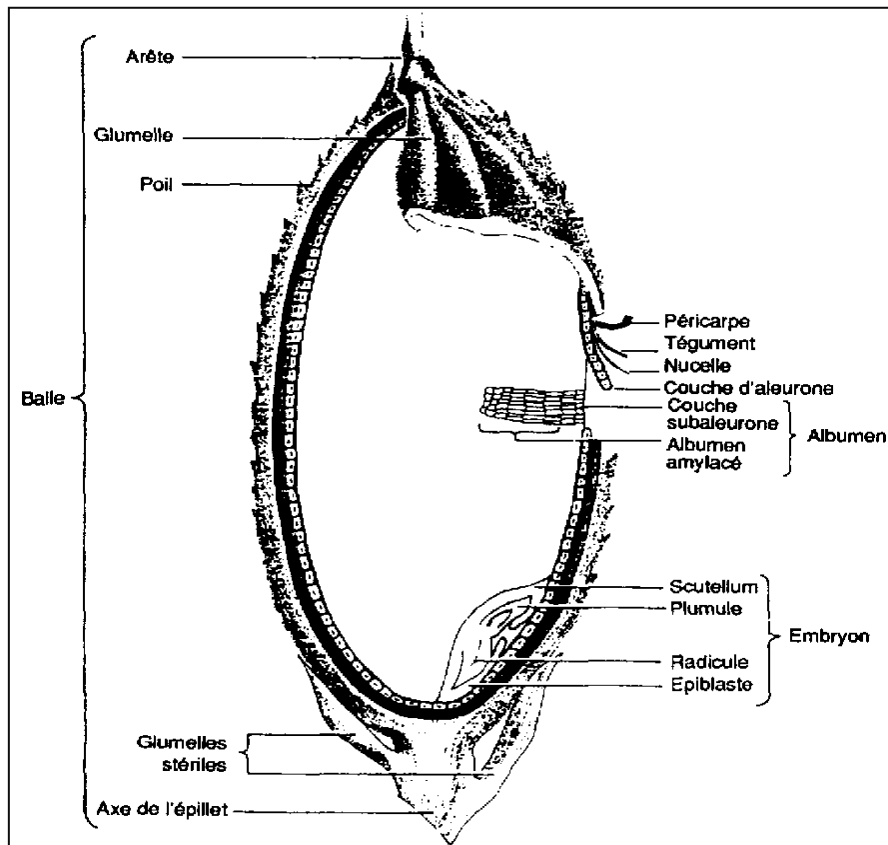
\*Le **riz usiné** (riz blanc) est un riz décortiqué qui a été débarrassé par usinage de tout ou partie du péricarpe et du germe.

\*Le **riz étuvé** est un riz décortiqué ou usiné obtenu par trempage dans l'eau de riz paddy ou de riz décortiqué, puis soumis à un traitement thermique qui gélatinifie entièrement l'amidon, et à un séchage.

\***Riz gluant**: variétés spéciales de riz dont les grains sont blancs et opaques. L'amidon du riz gluant est presque entièrement constitué d'amylopectine. Il a tendance à s'agglutiner après la cuisson (Codex Standard 198-1995).

### 3-Structure de grain de riz

Le grain de riz (riz paille ou paddy) consiste en une enveloppe protectrice - la balle - et en un caryopse ou fruit (riz brun, riz cargo ou riz décortiqué) (JULIANO et BECHTEL, 1985) .(Figure 04)



**Figure 04** : Section longitudinale du grain de riz (Juliano, 1972).

- **La balle** : Enveloppe du grain de riz, coriace, riche en silice et cellulose. Non comestible, elle est enlevée après récolte. Elle constitue environ 20 % du poids du paddy, mais les valeurs varient de 16 à 28 %.
- **Caryopse** : Le riz cargo comprend les couches externes du péricarpe, le tégument et la nucelle, ainsi que le germe ou embryon (tissu maternel) et l'albumen (l'endosperme).

Le poids se répartit ainsi :

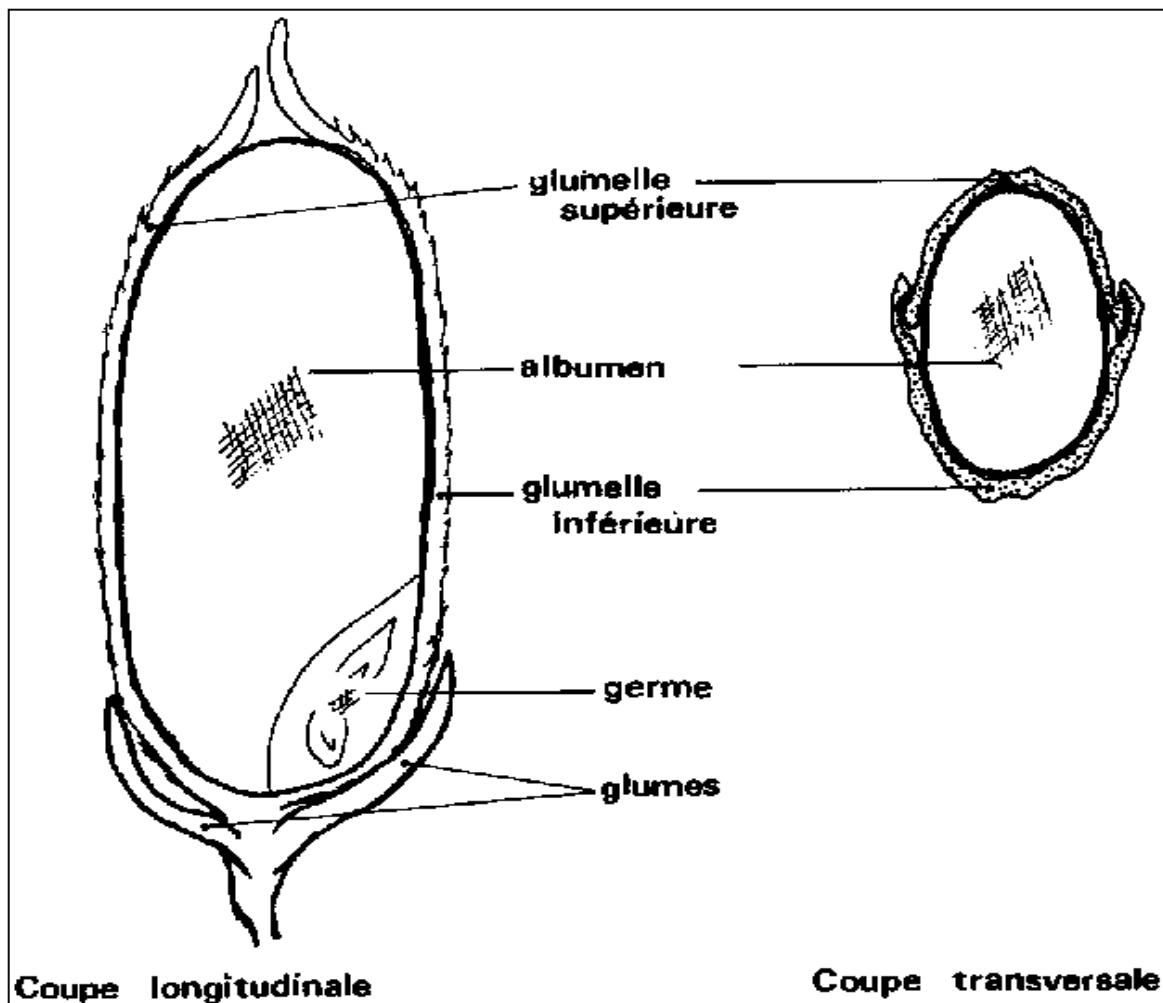
péricarpe, 1-2 %; aleurone plus nucelle et tégument, 4-6 %; germe, 1 %; scutellum, 2 %; albumen, 90-91 %. (JULIANO, 1972).

Les cellules de l'aleurone et de l'embryon sont riches en corps protéiques, contenant des globoides ou du phytate, et en corps lipidiques (TANAKA et al., 1973; TANAKA, OGAWA et KASAI, 1977).

L'albumen comprend la couche de cellules à aleurone, l'albumen proprement dit étant composé de la couche subaleurone et de la substance interne amylicée. La couche d'aleurone recouvre l'embryon. La pigmentation se limite au péricarpe

Les cellules de l'albumen ont une membrane mince et sont remplies d'amyloplastés contenant des granules d'amidon composé. Les deux couches de cellules les plus extérieures (la couche subaleurone) sont riches en protéines et en lipides, et les amyloplastés et les granules d'amidon composé y sont de plus petite taille que dans l'albumen interne (BIENVENIDO et JULIANO, 1994) .





**Figure 05:** Coupe d'un grain de riz paddy (DIOP , 1989)

#### 4. Classification du riz en fonction de la taille des grains

Le riz est généralement classé en fonction de la taille du grain. Le rapport longueur/largeur du grain est aussi pris en considération. Pour le calculer, il faut diviser la longueur moyenne du grain par sa largeur moyenne.

- L'IRRI applique le barème suivant pour la taille: extra-long, > 7,50 mm; long, 6,61-7,50 mm; moyen, 5,51-6,60 mm; court, < 5,50 mm. Pour la forme du grain, le barème est fonction du rapport longueur/largeur: mince, > 3,0; moyen, 2,1-3,0; large, 1,1-2,0; rond,  $\leq 1,0$ . (BIENVENIDO et JULIANO ,1994 )
- le projet de norme pour le riz, de la Commission du *Codex Alimentarius* a proposé la classification suivante du riz usiné sur la base du rapport entre la longueur et la largeur du grain: grain long,  $\leq 3,1$ ; grain moyen, 2,1-3,0; grain court,  $\leq 2,0$  et pour la longueur : 6,6 mm ou plus grains longs ; 6,2 mm ou plus mais moins de 6,6 mm grains moyens ; moins de 6,2 mm grains courts (*Codex alimentarius*, 1995)

## **5-Traitement du riz**

### **5-1- Usinage**

Pour pouvoir être consommé, le grain de riz vêtu « riz paddy » doit être séparé de ces

balles par décortilage qui est réalisé par divers types d'appareils : décortiqueurs à rouleaux de caoutchouc, à meules ,à bandes de caoutchouc, à cylindres ( GODON B.et WILLM C.,1998) ; au cours de cette opération on obtient du « riz décortiqué » ou « rizcargo » ou « riz brun » et un sous produit, les balles. Après décortilage, le riz est très souvent soumis au blanchiment qui a pour effet de retirer les différentes couches du péricarpe ainsi que les téguments séminaux, la couche à aleurone et le germe pour partie. On obtient ainsi le « riz blanchi » ou « riz blanc » et un sous produit, les issues ou les farines de blanchiment. Au cours de ce traitement, des grains de riz se fragmentent en proportion plus ou moins élevée, produisant des brisures. (MOHTADJI et LAMBALLAIS, 1989 ; ALARY et LAIGNELET, 1998 ; BIENVENIDO, 1994 ; LE GOFF, 1997). Cette opération s'effectue par l'intermédiaire de cônes à blanchir ou dans des appareils à cylindre horizontaux .Les deux principes qui permettent le blanchiment de riz sont basé sur l'abrasion des grains contre une surface abrasif et/ou la friction des grains les unes contre les autres . On regroupe l'ensemble de ces opérations sous le terme d'usinage (GODON et WILLM ,1998).

### **5-2- Étuvage du riz**

Un riz complètement blanchi contient moins de protéines, de vitamines et des minéraux et plus d'amidon donc possède ainsi une valeur nutritionnelle amoindrie (ROUDAUT et LEFRANCQ,2005). Pour pallier cet inconvénient, certaines populations ont recours au procédé « d'étuvage du paddy » (ALARY et LAIGNELET, 1998). C'est un procédé d'origine indienne, très ancien et très connu, consiste en un traitement hydrothermique du riz paddy favorise la diffusion des substances solubles à l'intérieur ,du grain et leurs concentration. L'usinage est facilité ,les pertes nutritionnelles limitées : l'assise protéique est conservée , les teneurs en vitamines sont doublées par rapport au riz blanc traditionnel .De plus le riz étuvé ne colle pas , l'amidon étant en quelque sorte « emprisonné » à l'intérieur de grain (FEILLET , 2000 ;ROUDAUT et LEFRANCQ ,2005)

L'étuvage est réalisé dans des autoclaves rotatifs par de la vapeur d'eau sous pression à une température supérieure à 100C° et que le séchage s'effectue sous vide à l'intérieure même de l'autoclave. Les deux principales variables du processus sont l'eau et la chaleur ; utilisé seules ou convenablement combinées ces deux variables permettront de réaliser respectivement les trois phases qui constitue l'étuvage : le trempage, le traitement à la vapeur et le séchage(GODON et WILLM ,1998).

## **6-Composition biochimique du riz**

**Tableau 08 :** Composition approximative du paddy et de ses fractions d'usinage à 14% d'humidité.

| <i>Fraction de riz</i> | <i>Protéines bruts g N X 5,95</i> | <i>Lipides bruts (g)</i> | <i>Fibres brutes (g)</i> | <i>Principes minéraux bruts (g)</i> | <i>Glucides digestibles (g)</i> | <i>Fibres détergent neutres (g)</i> | <i>Teneur en énergie KJ/Kcal</i> |         |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------|
| <i>Riz paddy</i>       | 5,8-7,7                           | 1,5-2,3                  | 7,2-10,4                 | 2,9-5,2                             | 64-73                           | 16,4-19,2                           | 1580                             | 378     |
| <i>Riz cargo</i>       | 7,1-8,3                           | 1,6-2,8                  | 0,6-1,0                  | 1,0-1,5                             | 73-87                           | 2,9-3,9                             | 1520                             | 363-385 |
|                        |                                   |                          |                          |                                     |                                 |                                     | 1610                             |         |
| <i>Riz usiné</i>       | 6,3-7,1                           | 0,3-0,5                  | 0,2-0,5                  | 0,3-0,8                             | 77-89                           | 0,7-2,3                             | 1460                             | 349-373 |
|                        |                                   |                          |                          |                                     |                                 |                                     | 1560                             |         |

Source : (JULIANO et BECHTEL, 1985)

### 6-1-Amidon :

Le grain d'amidon est essentiellement présent dans les cellules de l'albumen du riz arrivé à maturité. Il possède une structure sphérique ellipsoïdale et varie de 7 à 30 µm de diamètre. L'amidon est formé principalement de macromolécules ramifiées : l'amylopectine et de macromolécules linéaires : l'amylose (LAIGNELET, 1998).

L'amidon du riz possède les granules les plus petites et la poudre la plus blanche par rapport aux autres amidons, ce qui lui permet de avoir un grand nombre d'applications. Ces caractéristiques sont dues essentiellement au taux élevé de branchement en courtes chaînes de l'amylopectine (LAUREYS et GEEROMS, 2002). L'amidon de riz waxy (ou glutineux) possède une teneur en amylose apparente de 0,8 à 1,3%, les riz non-waxy peuvent avoir de 7 à 33%. La détermination de la teneur en amylose est importante car, il a été montré qu'il existe une forte corrélation entre la teneur en amylose et la qualité culinaire. (LAIGNELET, 1998).

### 6-2- Autres constituants glucidiques

Les autres glucides sont véritablement minoritaires, il s'agit principalement de saccharose. Le riz contient aussi des quantités non négligeables de pentosanes qui jouent probablement un rôle comme chez les autres céréales, dans l'absorption d'eau au cours de la cuisson (LAIGNELET, 1998).

### 6-3-Protéines :

Les protéines sont le second constituant le plus important du riz (Tableau 08). Comme pour les autres protéines des céréales, la composition en acides aminés révèle une déficience, en lysine notamment (LAIGNELET, 1998). Cependant, les protéines du riz sont d'un point de vue nutritionnel parmi celles qui sont les moins mal équilibrées (avec l'avoine) chez les céréales (LAUREYS et GEEROMS, 2002). La composition en acides aminés semble être indépendante de la présence du gène waxy. (LAIGNELET, 1998).

Les fractions externes du grain sont riches en albumines 5% (solubles dans l'eau) et en globulines 10% (soluble dans les solutions salines), alors que le riz blanchi est le

plus riche en glutélines (oryzenine, solubles dans les bases diluées) protéine majoritaire 83%. Les prolamines (solubles dans les solutions alcooliques) sont une fraction mineure (2%) de tous les produits de mouture du grain de riz (BIENVENIDO, 1994).

Le riz se distingue donc parmi toutes les céréales par sa teneur élevée en glutélines et faible en prolamines, donc particulièrement riches en lysine (MOHTADJI-LAMBALLAIS, 1989 ; LAIGNELET, 1998).

De même que le maïs, le riz ne contient pas de protéines formatrices de gluten (ANONYME, 2002 ; BOURFE-RIVIERE , 2008), Raison pour laquelle qu'il n'est pas panifiable (STRIGLER, 2011) .

#### **6-4 -Lipides :**

La teneur du riz en lipides ou matières grasses est principalement dans la fraction constituée par le son (20% de l'extrait sec), expressément sous forme de corps lipidiques ou sphérosomes dans la couche d'aleurone et le son, mais le riz usiné contient de 0,3 à 0,5 pour cent de lipides, principalement sous forme de lipides non amyliques extraits à l'éther, au chloroforme-méthanol et au butanol saturé d'eau froide .Les corps protéiques, en particulier le noyau, sont riches en lipides .Les principaux acides gras de ces lipides sont les acides linoléique, oléique et palmitique (BIENVENIDO et JULIANO, 1994). L'usinage provoque une diminution importante du taux des lipides d'environ 80% (MOHTADJI-LAMBALLAIS, 1989).

#### **6-5-Autres constituants :**

Les vitamines se trouvent à un niveau plus élevé dans le riz cargo que dans le riz blanchi. La plus grande partie de celle-ci se trouve dans la couche à aleurone et l'embryon, d'où une perte vitaminique importante du fait de l'usinage. Le riz ne contient pas ou très peu de vitamine A, d'acide ascorbique ou de vitamine D ; il est par contre particulièrement riche en vitamine du groupe B. Outre le silicium, le riz contient des quantités assez importantes de magnésium et de potassium et il est particulièrement pauvre en sodium (MOHTADJI-LAMBALLAIS, 1989 ; BIENVENIDO, 1994 ; LAIGNELET , 1998).

#### **7-Valeur nutritionnelle du riz**

Du point de vue nutritionnel, le riz représente avant tout un apport énergétique sous forme d'amidon. Le riz blanchi est composé pour environ 90% de son poids sec. Il contient aussi un peu de sucres : du saccharose, et de faible quantité de glucose de fructose et de raffinose (STRIGLER, 2011). La valeur énergétique du riz varie entre 350 et 360 calories aux 100g (DIEDHIOU, 2004). L'amidon de riz, se caractérise par une digestibilité élevée, raison pour laquelle le riz est utilisé, généralement sous forme de farine, dans les aliments infantiles (LAUREYS et GEEROMS, 2002).

Le riz ne contient pas de gluten et possède un bon coefficient d'utilisation digestive (CUD) et une bonne valeur biologique . Comme toutes les céréales, il est déficient en lysine et en méthionine. Il contient 0,5% de minéraux : peu de sodium et

potassium( ce qui fait un aliment de choix dans le régime sans sel)( APFELBAUM , PERLEMUTTER et al , 1981 ).

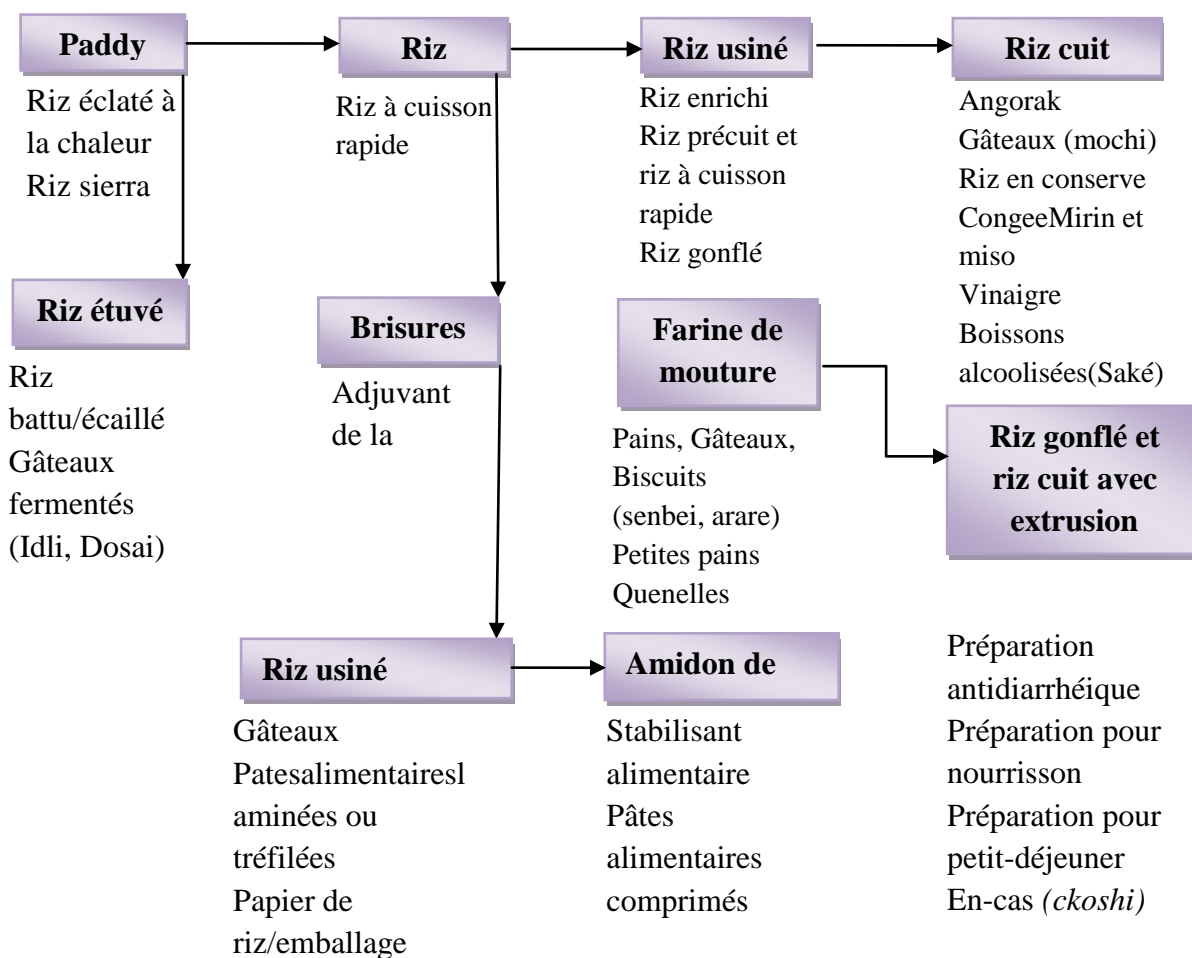
À riz blanc, l'on associait autrefois le béribérie , maladie liée à une carence en vitamine B1 consécutive d' alimentation presque exclusive en ce dérivée céréalière. Comme toute les céréales à taux d'extraction faible le riz blanc présente des insuffisances nutritionnelles plus marquées que les céréales complètes mais l'étuvage de riz et les compléments en réalisant des associations avec des légumineuses (lentille, soja) et /ou des produits laitiers limite l'apparition de maladie de carence (ROUDAUT et LEFRANCQ,2005 ;VIERLING, 2008 ).

### **8-Les secteurs d'utilisation de riz**

Contrairement aux autres céréales, le riz est uniquement produit pour l'alimentation humaine tout en étant en général fort peu transformée au-delà du stade du blanchiment (RAUX, 1990).

Le riz se prête à de nombreuses préparations salées ou sucrées. Son grain d'amidon petit, le rend bien attaquant par les enzymes digestives. Le riz rond blanc est particulièrement utilisé en diététique thérapeutique pour les propriétés anti diarrhéiques de l'eau de riz et pour la bonne digestibilité du riz, présenté sous forme de grain semoule ou farine ,tant chez l'adulte que chez l'enfant(ROUDAUT et LEFRANCQ , 2005 ;VIERLING, 2008 ).

Le schéma ci-dessous représente les différentes utilisations du riz et de ses dérivés



**Figure 06:** Schéma les secteurs d'utilisation de riz (JULIANO et HICKS, 1990 in FAO, 1990).

## V . Le Pois chiche

### 1-Origin et répartition géographique

Le pois chiche est parmi les premières légumineuses à graines domestiquées par l'homme depuis l'antiquité (MAESEN., 1987 in MAOUGAL, 2004). Il est inconnu à l'état sauvage. On pense que ses origines se trouveraient dans le sud-est de la Turquie et dans les zones voisines de Syrie et d'Iran. Les restes les plus anciens de graines de pois chiche remontent à 7000 avant J-C. Il arriva sur les côtes du bassin méditerranéen après avoir traversé de nombreux pays et les Phéniciens pourraient être à l'origine de cette diffusion. La culture du pois chiche connaît une expansion dans les pays où son introduction est récente, comme l'Australie, la Nouvelle Zélande, les États Unis et le Canada. En Afrique tropicale, il est cultivé principalement en Afrique de l'est (FAO, 1990 ; MAOUGAL, 2004 ; BRINK et BELAY, 2006). C'est une plante bien adaptée aux régions semi arides d'Afrique, en raison de sa tolérance modérée à élever à la sécheresse. Dans les pays d'Afrique du Nord, la production est en déclin à cause de la faiblesse de son rendement comparé au céréale (BRINK et BELAY, 2006).

### 2-Place du pois chiche en Algérie

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est, en Algérie, la seconde légumineuse alimentaire produite après les fèves. Sa culture a connu, durant la décennie 1980-90 une certaine évolution progressive sur le plan des superficies et de la consommation et une évolution régressive en terme de productivité. Les causes de la faiblesse de la productivité du pois chiche en Algérie sont souvent d'ordre agro techniques liées aux conditions de semis (période, modes de semis, qualité de la semence) et à l'infestation par les adventices (MAOUGAL, 2004).

### 3-Classification

Le pois chiche est une plante appartenant à Famille *Papilionaceae* (*Leguminosae* – *Papilionoideae*, *Fabaceae*), sous famille de *Papilionoideae*, tribu de *Cicereae*, genre *Cicer*, contenant 40 espèces

Nombre de chromosomes  $2n = 16$

Noms vernaculaires Pois chiche (Français). Chick-pea, Bengal gram, gram, garbanzo (Anglais) (MAOUGAL, 2004 ; BRINK et BELAY, 2006).

Il existe de nombreuses variétés de pois chiche (*Cicer arietinum*) (20000 dans le monde) qui peuvent se classer en trois grands types : (PLANCQUAERT et WERY, 1991 ; BOYELDIEU 1991) :

- Desi, à graines assez petites (moins de 300 mg), ridées de couleur jaune à noire ; ce type représente 85 % des surfaces cultivées dans le monde, utilisé pour l'alimentation animale.

- Kabuli, à graines moyennes (plus de 250 mg), ridées, de couleur crème, destiné à l'alimentation humaine.

- Gulabi, beaucoup moins cultivé, de couleur claire, semble promoteur en France.

En Algérie, où le marché du pois chiche de type Kabuli est très porteur, l'accroissement de la production est limité par la faiblesse des rendements, rendant le pois chiche peu compétitif par rapport aux autres cultures (PLUVINAGE ,1990), très récemment, quelques lignées de pois chiches d'hiver sont actuellement en phase de production de semence en stations et chez les agriculteurs, il s'agit de : Chetoui et Flip (CHOUAKI ,2006).

#### **4-Valeur nutritionnelle**

Selon SPILLER et SPILLER (2007),on peut se fier à la valeur nutritionnelle de pois chiche comme à celle de légumineuses .Il procure beaucoup de fibre( soluble et insoluble)et leurs principaux nutriments -l'amidon,les protéines et un peu e l'huile- sont bien équilibrés. ils fournissent aussi une bonne quantité de vitamines B (particulièrement de l'acide folique), de minéraux (calcium, fer, potassium et phosphore) et de polyphénols antioxydant .Il renferme entre 20 % et 25% de protéines a titre de comparaison avec la teneur en protéines de la viande est de 16 à 25% et celle du poisson de 14 à 20% (MAOUGAL , 2004 ). Ainsi avec une valeur biologique la plus élevée par rapport aux autres légumineuses : 52-78% (FAO,1990). Dans le tableau 09 on présente la composition détaillé de pois chiche selon différents ouvrages



**Tableau09** : La composition des grains mure crues de pois chiche, par 100g de partie comestible

| <b>Composants<br/>Quantité</b> | <b>BRINK et BELAY<br/>,2006</b> | <b>FAO, 1990</b> | <b>FORTIN ,2008</b> |
|--------------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Eau</b>                     | 11,5 g                          | -                | 10-11 g             |
| <b>Energie</b>                 | 1525 KJ (364kcal)               | -                | -                   |
| <b>Protéines</b>               | 19,3 g                          | 25,4 g           | 13-25 g             |
| <b>Lipides</b>                 | 6 g                             | 5.5 g            | 3.5- 5 g            |
| <b>Glucides</b>                | 60,7g                           | -                | -                   |
| <b>Glucides assimilable</b>    | -                               | -                | 43 - 48 g           |
| <b>Amidon</b>                  | -                               | 55.6 g           | -                   |
| <b>Sucres solubles</b>         | -                               | 5.1 g            | -                   |
| <b>Fibre alimentaire</b>       | 17,4g                           | -                | -                   |
| <b>Fibre brute</b>             | -                               | 1.1 g            | -                   |
| <b>Fibres totales</b>          | -                               | -                | 9.5 - 15 g          |
| <b>Cendre</b>                  | -                               | 2.9 g            | 2.7 – 4 g           |
| <b>Ca</b>                      | 105 mg                          | -                | -                   |
| <b>P</b>                       | 366 mg                          | -                | -                   |
| <b>Fe</b>                      | 6,2 mg                          | -                | -                   |
| <b>Zn</b>                      | 3,4 mg                          | -                | -                   |
| <b>Vitamine</b>                | A 67 UI                         | -                | -                   |
| <b>Thiamine</b>                | 0,48 mg                         | -                | -                   |
| <b>Riboflavine</b>             | 0,25 mg                         | -                | -                   |
| <b>Niacine</b>                 | 1,5 mg                          | -                | -                   |
| <b>Vitamine B6</b>             | 0,54 mg                         | -                | -                   |
| <b>Folates</b>                 | 557 µg                          | -                | -                   |
| <b>Acide ascorbique</b>        | 4 mg                            | -                | -                   |

**Tableau 10** :La composition en acides aminés essentiels, et en acides gras essentiels par 100g de partie comestible (BRINK et BELAY,2006) :

|   | <b>Acides aminé ou acides gras essentiels</b> | <b>Quantité par 100g de partie comestible</b> |
|---|---|---|
| <b>La composition en acides aminés essentiels</b> | <i>Tryptophane</i>                            | 185 mg  |
|   | <i>Lysine</i>                                 | 1291 mg                                       |
|   | <i>Méthionine</i>                             | 253 mg  |
|   | <i>Phénylalanine</i>                          | 1034 mg                                       |
|   | <i>Thréonine</i>                              | 716 mg  |
|   | <i>Valine</i>                                 | 809 mg  |
|   | <i>leucine</i>                                | 1374 mg                                       |
|   | <i>isoleucine</i>                             | 828 mg  |
| <b>La composition en acides gras essentiels</b>   | <i>acide linoléique</i>                       | 2593 mg                                       |
|   | <i>acide oléique</i>                          | 1346 mg                                       |
|   | <i>acide palmitique</i>                       | 501 mg  |
|   | <i>acide linoléique</i>                       | 101 mg  |
|   | <i>acide stéarique</i>                        | 85 mg   |

## **VI .Supplémentation Céréales / Légumes Secs / Spiruline :**

La composition en acides aminés des céréales reflète les proportions de différentes protéines qui les constituent .Les acides aminés soufrés y sont dans l'ensemble bien représenté mais ils sont déficients en lysine. Alors que pour les légumineuses ,on note un déficit en acides aminés soufrée et une teneur intéressante en lysine( JARRIGE et *al*,1995 ; GEUBELLE, 2006;HOUDE,2008; BAUDAT,2008).

On qualifie donc ces aliments à protéines incomplètes et atteindre l'équilibre alimentaire et pour combler la déficience en acides aminés essentiels on fait recoure à la complémentarité par la consommation associer des deux aliments dans le même repas ou dans la même journée et à des proportions de 30% de protéines de légumineuses et 70% de céréales (FORTIN,1996 ; HOUDE, 2008 ;BAUDAT, 2008).

L' association des deux aliments protéiques dont l'acide aminé facteur limitant est différent, peut conduire à une valeur qualitative du mélange supérieur même à la valeur plus élevée l'un des deux(FRENOT et VIERLING,2001 ;ROUDAUT et LEFRANCQ, 2005 ).

Notons que chaque civilisation a mis au point sa propre combinaison de protéines complémentaires ainsi, on trouve : riz et soja en Extrême-Orient, couscous et pois chiche en Afrique du Nord, maïs et haricots rouges en Amérique de sud , mil et niébés en Afrique noire, riz et lentilles en Inde ,blé fèves, et pois cassés en Europe (FAO, 1990 ;FRENOT et VIERLING,2001 ;ROUDAUT et LEFRANCQ, 2005 ).Et même l'incorporation des algues dans les tradition culinaire par certaine population, selon GONNET (2005 ),le Dihé a spiruline) (voir Annexe II)est une ressource alimentaire traditionnelle entrant dans la composition de plusieurs recettes. Il est consommé régulièrement au même titre qu'un légume. La sauce au Dihé est le plat le plus cité et le plus populaire chez les Kanembou. Elle est aussi consommé en mélangeant le Dihé avec la bouillie (un mélange de riz, de lait et d'huile)ainsi accompagnent généralement la « boule »,le plat national tchadien à base de farine de mil ou de maïs .

Ainsi d'un point de vue nutritionnel, le spectre d'acides aminés de la spiruline montre que la valeur biologique des protéines de la spiruline est très haute, et que l'optimum pourrait être atteint par complémentation avec une bonne source d'acides aminés soufrés et éventuellement de lysine et/ou d'histidine: des céréales comme le riz, le blé et le millet par exemple, ou certains oléagineux comme le sésame devraient être d'excellents compléments. Remarquons que les populations du Tchad qui consomment de la spiruline, l'associent au mil qui est spécialement riche en méthionine et cystéine (LEONARD, 1967 *in* DANSOU,2002 ).

Selon ANUSUYA et VENKATARAMAN( 1983) ,l'effet de la complémentation des céréales par de la spiruline chez le rat a été évalué avec des résultats surprenants a titre d'exemple : un rapport d'efficacité protéique de 1.90 a été obtenue avec un diète de spiruline et de 2.20 avec le riz alors que 2.35 avec un diète de et riz + spiruline (3:1) (FALQUET et HURNI ,2006).

## Matériel et Méthodes

Notre étude a été réalisée en plusieurs parties en effet nous avons commencé par une caractérisation des matières premières utilisés ce qui a nécessité une série d'analyses physiques et chimiques.

Ensuite nous avons entamé la formulation de six types de couscous de riz incorporés de pois chiche et de spiruline. Enfin les différents couscous préparés ont été évalués pour estimer la qualité technologique, culinaire, nutritionnelle et sensorielle.

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau des sites suivants :

- ✓ INSFP-IAA
- ✓ CFPA Ouled Yaich
- ✓ SIM
- ✓ ONAB

### 1- Matières premières : présentation

**1-1- Le riz :** Le riz utilisé est un riz blanc de marque SUP (voir Figure 07 photo : 01). Les grains sélectionnés de l'échantillon pour l'essai ne sont pas immatures ou mal formés et sans aucune partie brisée. (voir annexe II)

**1-2- pois chiche :** *Cicer arietinum*, est un produit récolté en 2012 de la région de l'est de l'Algérie (Constantine) fourni par L'OAIC de Blida dans des sacs de polyéthylène. Appartient à la variété *FLIP-90-13C G1*. (voir Figure 07 photo : 01)

La mesure des dimensions des grains a été réalisée par un instrument de mesure à coulisse de marque ROCKY au niveau de CFPA Taleb Mouhamed à Ouled Yaich en collaboration avec un enseignant de l'électromécanique (voir figure 08).

**1-3- La spiruline :** sous forme de poudre d'origine tunisienne (voir Figure 07 : photo : 02) dont la composition est : 5 % eau, 5 % carbohydrates, 65 % protéines, 10 % lipides, minéraux 10 %, vitamines ; B1, B2, B3, B4, B5, B6, B8, B9, B12, E Antioxydants ; bêta-carotène, phycocyanine, chlorophylle A, superoxyde-dismutase, minéraux majeurs ; Ca, P, Mg, Mn, Zn, Fe .

#### 1-4-L'eau de fabrication

L'eau utilisée dans la fabrication des couscous est une eau de source Nestlé Water de pH 7,6

#### 1-5 -Le sel

Le sel utilisé est un sel iodé produit par l'ENASEL et commercialisé pour les usages culinaires.

#### 2- Préparation des matières premières pour la fabrication

Pour la préparation des matières à étudier (riz et pois chiche), nous avons procédé tout d'abord à un triage manuel des grains dans le but d'éliminer les grains endommagés et les corps étrangers.

Les grains de riz et de pois chiche sont ensuite broyés chacun à l'aide d'un broyeur électrique de laboratoire à grain, les produits de mouture sont passés à travers un plansichter de laboratoire pour éliminer les enveloppes et les grosses particules ,et classer le broyat selon une granulométrie d'une semoule grosse moyenne(250 à 950 $\mu$ m).(voire figure09).

Cette préparation a été réalisé au niveau de laboratoire de contrôle de qualité de la semoulerie SIM .Les échantillons sont conditionnés dans des sacs en papier de 2 kg est conservé à température ambiante dans un endroit sec.

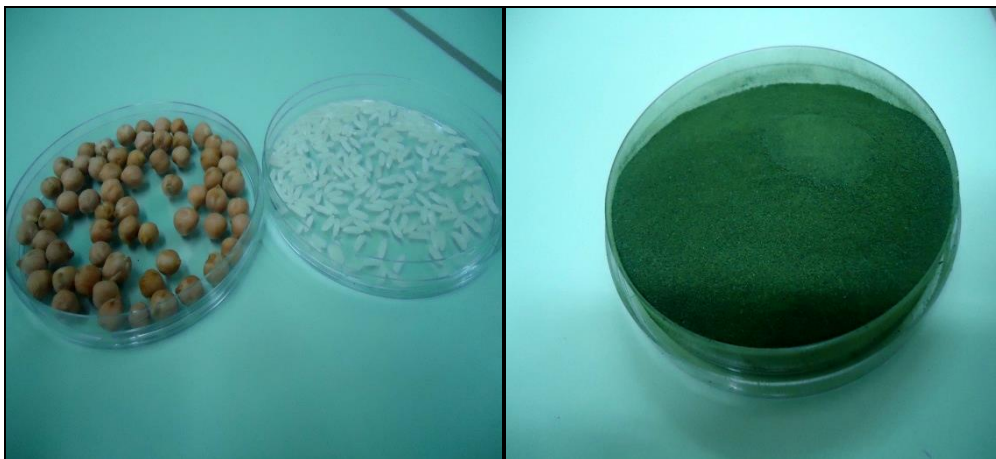


Photo 01 : Pois chiche et riz

Photo 02: Spiruline en poudre

**Figure 07** : Echantillons des matières première utilisé (photo originale)



Photo 03 : Mesure de dimension de riz

Photo 04 : Mesure de dimension de  
Pois chiche

**Figure 08** : Mesure de dimension de riz et pois chiche par le pied à coulisse (photo originale)



Photo 05: Semoule de riz

Photo 06 : Semoule de pois chiche

**Figure 09**: semoule de riz et semoule de pois chiche (photo originale)

### 3 -Matériels utilisé dans la fabrication du couscous

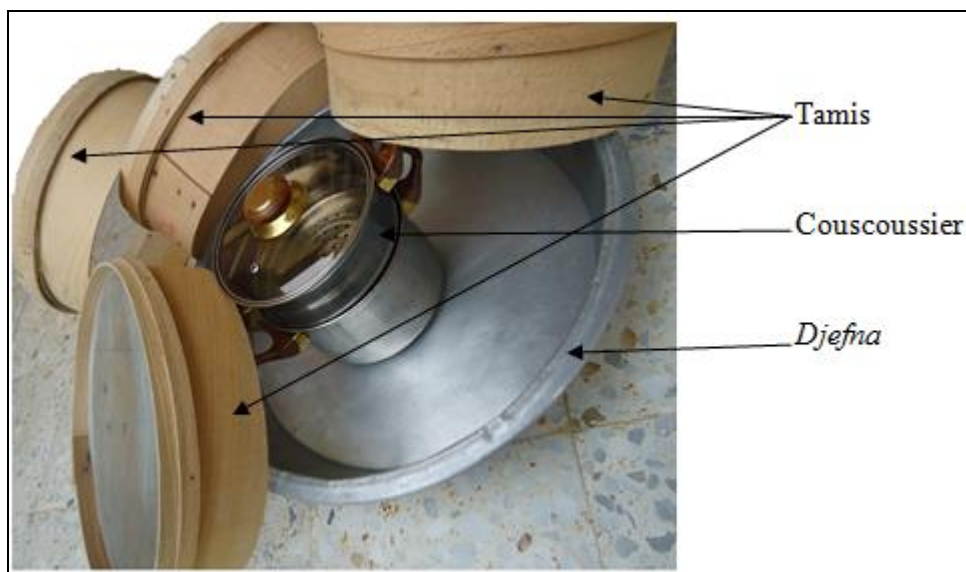
Les ustensiles utilisés pour rouler le couscous sont ceux habituellement employés au niveau domestique et sont ci-dessous décrits.(voire Figure10)

- **La Djefna** ou **guessâa**: la «*Djefna*» utilisée est un récipient en Aluminium ou bois d'un diamètre de près de 45 cm, et d'une profondeur de 5 cm. Elle est utilisée couramment pour le pétrissage des pâtes boulangés ou pâtisseries traditionnelles et pour la fabrication du couscous.
- **Les tamis** : dans la présente étude, la ménagère ayant réalisé la fabrication utilise quatre tamis d'ouvertures de maille différentes qui ont été dimensionnés par un instrument de mesure pied à coulisse de marque ROCKY au niveau de **CFPA** Taleb Mouhamed à Ouled Yaich en collaboration avec un enseignant de l'électromécanique. Pour chacun de ces tamis une dénomination appropriée à la région de Blida :
  - Tamis **kessar ettoub** : il s'agit du tamis possédant les plus larges mailles (2200µm) ; il sert au émottage des agglomérats formée au cours de roulage et tamisage de couscous après précuisons .
  - Tamis **kherredj**: tamis de mailles un peu plus serrées que le précédent (2000µm), il sert au tamisage et au calibrage du couscous.
  - Tamis **Reffad** : tamis d'ouverture de maille (1000 µm), utilisé pour séparer le couscous de la granulométrie désirée de celui des grains imparfaits et trop fins ou de la semoule .
  - Tamis **Takida** : tamis plus fin encore (500 µm), utilisé pour la séparation de la grosse semoule et de la fine semoule, et pour éliminer les traces de semoule ou débris de grains du couscous final après séchage.
- **Le cuiseur à vapeur** : il s'agit d'un ustensile dénommé aussi couscoussier. Il est utilisé pour la cuisson et se compose de deux parties. La partie inférieure permet de faire bouiller l'eau ou de préparer une sauce et cela produit de la vapeur servant à la cuisson des aliments dans la partie supérieure. Cette dernière est un récipient dont le fond est criblé de petits trous permettant la montée de la vapeur produite dans la couche de couscous ou d'aliment mis à cuire.

Les deux parties composant le cuiseur utilisé sont en inox **stainless steel** qui ont les dimensions suivantes :

- récipient supérieur perforé à la base :

- diamètre du fond égal à 160 mm ;
- diamètre du haut égale à 175mm ;
- hauteur : 75mm ;
- nombre de trous : 6 trous/100mm<sup>2</sup>
- récipient inférieur :
- capacité égale à 2L
- diamètre du fond égal à 145 mm ;
- diamètre du haut égal à 175 mm ;
- hauteur : 120mm ;



**Figure 10** : Matériel de fabrication artisanale de couscous (photo originale)

#### **4 -Caractérisation physico-chimique des matières premières**

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

##### **4-1-Granulométrie**

La granulométrie a un rôle important dans le comportement de l'échantillon lors de son hydratation et après. Elle est déterminée par tamisage d'un échantillon de 100g, de matière première à l'aide d'un plansichter de laboratoire type RHOTEX pendant 10 minutes et pesée à 0.01g près à l'aide d'une balance de précision analytique de marque KERN.



Le tamisage des matières premières est réalisé sur une batterie de cinq tamis standardisés dont les ouvertures de mailles sont : 950µm ; 730µm ; 614µm ; 554µm ; 225µm.

Le refus de chaque tamis est pesé et permet d'exprimer sa proportion en pourcentage massique du produit à caractériser.

#### **4-2-Taux d'humidité :** (NF V 03-707 de juin 1989; AFNOR, 1991).

Elle est déterminée par dessiccation dans une étuve de marque MEMMERT avec circulation d'air à une température de 130-133°C, sur 5 g de produit pesé à 1mg près jusqu'au poids constant L'humidité (H) pour 100 grammes d'échantillon est donnée par la formule suivante :

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

Teneur en eau en pourcentage

M<sub>0</sub> : masse en gramme de la prise d'essai avant séchage

M<sub>1</sub> : masse en gramme de la prise d'essai après séchage

#### **4-3-Dosage des cendres**

Les cendres sont le résidu obtenu après incinération d'une prise d'essai de 3g pesée à 1mg près dans un four à moufle de marque Linn electro jusqu'à obtention d'un résidu minéral ayant un poids constant. La teneur en cendres est déterminée :

- à 900°C pour la semoule et les produits de mouture du riz (NF V 03-720 de décembre 1981 ; AFNOR ,1991) ;

- à 550°C pour les produits de mouture des légumes secs (NF V 03-760 de décembre 1981 ; AFNOR, 1991).

Le pourcentage de cendres par rapport à la matière sèche (C) est calculé par la formule :

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

C : teneur en cendre

M<sub>1</sub> : masse de résidu en gramme

M<sub>0</sub> : masse de la prise d'essai en gramme

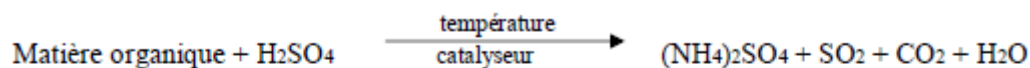
H : teneur en eau de l'échantillon en pourcentage

#### 4-4-Dosage des protéines : (NF V 03-050 ; AFNOR, 1991).

La teneur en azote est mesurée par la méthode de Kjeldahl. Elle consiste en la minéralisation de l'échantillon, l'alcalisation des produits de la réaction, la distillation de l'ammoniac libéré et son titrage .

La minéralisation est effectuée pendant 3 heures par l'acide sulfurique (95%, d=1.83) à chaud en présence d'un catalyseur, dans un minéralisateur de type BUCHI K429.

L'azote organique est transformé en azote minéral sous forme ammoniacale par l'action oxydative du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bouillant (AUDIGIE *et al.*, 1984).



L'ammoniaque du digestat est déplacée par une solution de NAOH à 30 %.



Au cours de la distillation, l'ammoniac est entraîné par la vapeur et récupéré dans du H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub> à 4 %. L'ammoniac récupéré est titré avec une solution H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 0.01N.

L'opération de distillation et de titration sont réalisées dans un appareil automatique : BUCHI 329 (unité de distillation et titration automatique).

La teneur en azote total (NT) exprimé pour 100 g de produit est donnée par la formule :

$$\text{NT}\% = \frac{100 \times D \times 14 \times V \times N}{1000 \times \text{Pe}}$$

D : facteur de correction pour tenir compte de la partie aliquote du minéralisât dilué avant distillation ;

V : volume en ml de l'acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;

N : normalité de l'acide sulfurique (0.01) ;

14 : masse en gramme d'un atome d'azote ;

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

La teneur en protéines (P) est approchée en multipliant la teneur en azote par un facteur de conversion K= 6,25 .Le résultat exprimé en pourcentage par rapport à la matière sèche est donné par la formule :

$$\text{P} = \text{K} \times \text{NT} \times \frac{100}{(100 - \text{H})}$$

H : teneur en eau de l'échantillon en pour-cent de l'échantillon humide.

#### 4-5-Dosage des lipides libres :

La teneur en lipides libres est déterminée grâce à un extracteur Soxhlet. Il s'agit d'extraire les lipides libres d'une prise d'essai de 10 grammes par un solvant organique(Hexane). Une fois l'extraction terminée, le solvant est évaporé, généralement sur un évaporateur rotatif, et la matière grasse est pesée(Genot et al,1984 in Godon et Loisel, 1997).Le taux des lipides est exprimé en pourcentage en masse de matière sèche du produit, selon la formule suivante :

$$\% \text{ lipides} = (M1 - M0) \times \frac{100}{Pe} \times \frac{100}{(100 - H)}$$

M1 : masse en gramme du récipient avec résidu de matière grasse ;

M0 : masse en gramme du récipient vide ;

Pe : la masse en gramme de la prise d'essai ;

H : teneur en eau de l'échantillon en pour-cent de l'échantillon humide.

**4-6-Dosage de l'amidon :** Méthode polarimétrique « méthode Ewers et NFV-03-à 603 », La méthode comporte une double détermination dans la première, l'échantillon est traité à chaud par l'acide chlorhydrique dilué. Après défécation et filtration, on mesure par polarimétrie le pouvoir rotatoire de la solution. Dans la seconde l'échantillon est extraite par l'éthanol à 40%.Après acidification du filtrat par HCl défécation et filtration on mesure le pouvoir rotatoire dans les mêmes conditions que lors de la première détermination. La différence entre les deux multiplie par un facteur connu pour donner la teneur de l'amidon.

La teneur en amidon(A) pour 100g de matière sèche est calculée comme suit :

$$A = \frac{2000(P - P')}{(\alpha)_D^{20}} \times \frac{100}{100 - H}$$

P : pouvoir rotatoire totale en degré d'arc

P' : pouvoir rotatoire en degré d'arc donné par les substances soluble dans l'éthanol à 40%

$(\alpha)_D^{20}$  : pouvoir spécifique de l'amidon pur :

+185,9° :Amidon de riz

+184,0° :Autre type d'amidon, ainsi que mélanges d'amidons des aliments composés

#### **4-7-Dosage des sucres totaux :**(GENOT et al,1984 in GODON et LOISEL, 1997)

Extraction par l'alcool à 70-80°. Cet extrait contient tous les holosides sauf l'amidon et également des hétérosides. Distiller l'alcool sous pression réduite à une température ne dépassant pas 50° C, à l'aide d'un distillateur sous vide, rotatif.

Défécation de la solution aqueuse. L'extrait aqueux initial (Solution A) est chargé de nombreuses substances (glucides, graisses et lipides, pigments, acides aminés, acides organiques, sels minéraux, des corps réducteurs qui ne sont pas des glucides). Ces substances risquent de perturber le dosage chimique.

Il faut donc préalablement les éliminer. C'est le but de la défécation par le Carez I et le Carez II. Puis dosage des sucres par la méthode de Bertrand ( $\text{KMnO}_4$ )

#### **5 -Formules du couscous**

Les protéines de légumineuse sont généralement riches en lysine, acide aminé souvent déficient dans les protéines de céréales. C'est là un facteur important lorsqu'il s'agit d'utiliser les protéines de légumineuses pour compléter les régimes à base de céréales. Un rapport d'environ 2 à 1 du blé au pois chiche permet d'obtenir une qualité protéique optimale (FAO, 1990).

La spiruline est caractérisée par un taux très élevé de protéines pouvant atteindre jusqu'à 70 % du poids sec, sur le plan qualitatif, elle offre un éventail complet d'acides aminés dont 47 % sont des acides aminés essentiels. Cependant, comme dans la plupart des végétaux, certains acides aminés ne sont présents qu'en faible quantité : c'est le cas des acides aminés soufrés (Méthionine et Cystéine) et de la Lysine. Il est alors intéressant d'envisager l'utilisation de la spiruline dans le cadre d'une complémentation protéique pour améliorer sa valeur biologique en l'associant par exemple à des céréales (mil, riz, millet...) et des oléagineux (soja, sésame), respectivement riches en acides aminés soufrés et en lysine (PIERLOVISI, 2008)

Dans la présente étude notre travail consiste à préparer un couscous anti sprue à base de riz enrichi de pois chiche et de la spiruline, donc nous avons réalisé différentes formules ; la complémentarité a été réalisée avec des mélanges à 2/3 de semoule riz plus 1/3 de semoule de pois chiche en rapports massiques d'une part et d'autre part on a incorporé une dose de 1 et 0,5% de la spiruline sèche réduit en

poudre ;les différentes ingrédients sont mélangés et homogénéisé à sec pour chaque formule séparément .(voire Annexe III)

Par conséquence , nous avons six formules à préparer et à étudier :

- ✓ Couscous de semoule de riz (CR)
- ✓ Couscous de semoule de riz et de pois chiche (CR/PC)
- ✓ Couscous de semoule de riz enrichi à la spiruline à 1%(CR/Sp1%)
- ✓ Couscous de semoule de riz enrichi à la spiruline à 0 ,5 %(CR/Sp 0,5%)
- ✓ Couscous de semoule de riz et de pois chiche enrichi à la spiruline à 1% (CR/PC/Sp 1%)
- ✓ Couscous de semoule de riz et de pois chiche enrichi à la spiruline à 0,5% (CR/PC/Sp 0,5%)

## **6- Fabrication du couscous**

Le couscous artisanal a été fabriqué au mois de mai 2013, selon un protocole traditionnel courant dans la région de Blida qui ne prévoit pas l'étape de précuisson de la semoule et dont le diagramme est présenté dans la Figure 11.

La fabrication des couscous a été réalisée hors laboratoire, à la maison dans une chambre propre et bien aérée à température de 25°C par une praticienne expérimentée qui a travaillé dans les conditions habituelles avec le matériel couramment utilisé.(Figure 10)

La confection du couscous est pratiquée à partir de quantités de matières premières telles que fixées par les usages et les dimensions des ustensiles et dans l'environnement habituel. Pour chaque formule, nous avons mis à la disposition de la fabricante 1500 g de semoule grosse moyenne , et 1,5 L d'eau salée à 7 g /l.

## **6-1-Les étapes du diagramme de fabrication.**

### **6-1-2-Etape de grenaison**

La semoule (environ 100g) est disposée dans la **Djéfna** puis hydratée avec une quantité appropriée d'eau salée (photo 7). L'eau et la semoule sont mélangées avec les doigts pour répartir également l'humidité puis la paume de la main est utilisée avec une très légère pression selon un grand mouvement circulaire (photo8). Grâce à l'hydratation, des liens se forment entre particules de semoule et permettent leur agglomération (HEBRARD et *al.*, 2003 in MEZROUA 2011). Cette étape est délicate, il faut d'une part assurer le mouillage de la semoule et d' 'autre part éviter la sur-agglomération qui conduit à la formation d'une pâte due à l'humidification excessive de la semoule (MEZROUA ,2011) .

Un début d'agglomération est observé (photo 9), le produit est calibré à l'aide du tamis **kessar ettoub**(2200µm) pour briser les grumeaux formés (photo 10). Tout le produit doit passer par le tamis **kessar ettoub**, le passant va à l'étape suivante.

### **6-1-3-Etape de mise en forme :**

Dans cette étape, les grains primaires sont humidifiés encore avec de l'eau salée tout en utilisant les doigts dans la répartition de cette eau (photo 11). Ensuite elles sont nourries peu à peu par addition de semoule. Un roulage est effectué avec grande pression du plat des mains et selon un mouvement de circulaire (photo 12). Les fines particules adhèrent aux grains primaires. Les grains de couscous ainsi constitués sont calibré par le tamis **kherredj** avec la paume de la main on l' écrase contre la grille du tamis en même temps (photo 13 et 14). La taille finale des grains de couscous est établie par un calibrage (passage totale), à travers le tamis **kherredj**. c'est ce tamis qui donne la dimension des particules de couscous (photo 14).

### **6-1-4- Etape de finition**

Sur le couscous calibré qui est le passant du tamis **kherredj** , un roulage est effectué avec grande pression du plat des mains et selon un mouvement de va et viens tel un essuie glaces (2 à 3fois ) sans ajout ni d'eau ni de semoule , afin de compléter l'adhésion des particules de couscous et assurer leur individualisation(photo15).

Enfin le tamis **reffad** est utilisé pour séparer le couscous (refus) (photo16) de la semoule restée libre et les fines particules (**fetla**)(photo17).

Le passant du tamis **reffad (fetla)** est recyclé pour commencer un nouveau cycle de fabrication (hydratation, addition de la semoule , roulage circulaire et calibrage du couscous formé , roulage va et viens ,tamisage par le **reffad** ) jusqu'à transformation presque totale des grains primaires en couscous.

Une phase finale facultatif est appliqué ; le couscous est assemblé dans la **Djéfna** subie un deuxième roulage à sec (photo18) de va et viens appelé(**zligue** ) par le langage de dialecte suivie par un tamisage par le **reffad** afin d'assurer une bonne individualisation des particules de couscous et de séparer la **fetla** retombé au cours de repos .

Le processus de roulage pour les différentes formules est le même(voire Annexe IV) et les couscous humides obtenue sont représenté dans la **Figure 14**

#### **6-1-5-Précuisson et calibrage du couscous humide**

Le couscous humide qui est le refus du **reffad** est précuit à la vapeur d'eau dans le couscoussier pendant  $13 \pm 2$  min à  $99 \pm 1^\circ\text{C}$  (photo 25).Ce temps varie en fonction de :

- la granulométrie de couscous. Plus la granulométrie augmente plus le temps de précuisson diminue car la vapeur d'eau circule plus vite entre les gros grains de couscous (ANGAR et BELHOUCHE, 2002 *in* MEZROUA, 2011).

- l'épaisseur de la couche de couscous mis dans la passoire et cela en fonction de la profondeur de ce dernier.

Généralement, nous déterminons le temps de précuisson par :

- l'apparition de la vapeur d'eau à la surface de couscous.

- les grains de couscous se désagrègent entre les doigts sans former de pâtons et présentent une couleur claire

- le test de frapper légèrement sur le couscous lorsque ce dernier est bien précuit, ses grains n'adhèrent pas sur la main ouverte imbibée d'eau

### 6-1-6-Emottage et calibrage

Le couscous précuit qui se présente sous la forme du gâteau (forme de la partie supérieure du couscoussier), (photo26) est émotté manuellement ou par l'intermédiaire d' un outil à chaud(photo 27).Ensuite il est calibré à travers le tamis **kessar ettoub** (photo28) de manière à ce que tout le produit passe par les mailles du tamis et que la taille des grains humides n'excède pas 2200µm .

### 6-1-7-Séchage du couscous

Le couscous obtenu peut être consommé en poursuivant la cuisson ou séché pour être conservé( Figure16).Le séchage du produit fini se fait en deux phases :

-Séchage à l'ombre :le couscous humide après calibrage est étalé en couche mince sur un linge propre, à l'ombre et à la température ambiante  $24\pm 2$  °C dans une pièce aérée (photo 24). Le produit commence à perdre son humidité progressivement. Le temps de séchage est fonction de la température ambiante et de l'humidité relative de l'air (MEZROUA ,2011).

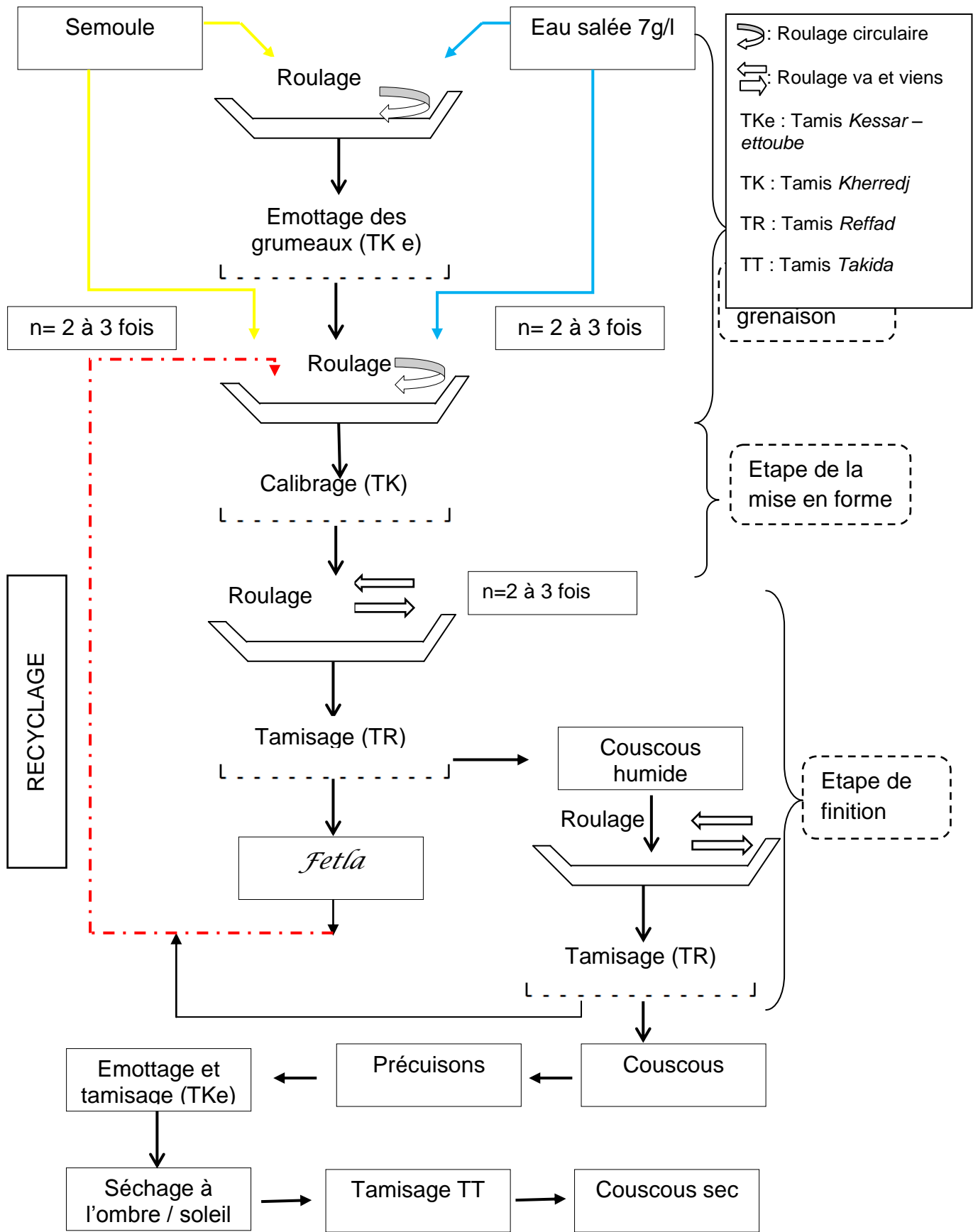
Lorsque notre produit est bien séché, nous passons le couscous au séchage au soleil. Qui se fait à l'air libre dans un endroit bien exposé au soleil, cette phase est nécessaire afin de garantir le séchage de produit.

Le couscous sec est tamisé par le tamis **Takida** (500 µm) afin d'éliminer les particules de semoule de couscous trop fin puis stocké dans des bocaux en verre fermé hermétiquement à l'abri de l'humidité, de lumière et à température ambiante.

Le diagramme représenté dans la Figure 11 résume le procédé de fabrication traditionnel du couscous adopté pour l'ensemble des formules élaborées.

Ainsi l'ensemble des étapes de roulage de couscous de riz pois chiche spiruline 1% sont représenté par les Figure (12 ,13,14,14,16,17) alors que pour les autres formules. (voir Annexe IV)





**Figure 11** : Diagramme traditionnel adopté pour le couscous



Photo 07 : addition d'eau



Photo 08 : roulage circulaire



Photo 09 : formation d'agglomérats  
TKe (2200 $\mu$ m)



Photo 10 : calibrage du mélange humide

**Figure 12** : Etape de la grenaison (photo originale)



Photo 11 et 12 : Ajout de l'eau et roulage circulaire



Photo 13 et 14 : Tamisage et calibrage de couscous  
tamis *kherredj*(2000  $\mu\text{m}$ )

**Figure 13** : Etape de mise en forme (photo originale)



Photo 15 : roulage du couscous en va et vient



Photo 16 : séparation du couscous humide (refus du TR : 1000 $\mu$ m)



Photo 17 : *fetla*



Photo 18 : roulage va et vient à sec (*zligue*)

**Figure 14** : Etape de finition (photo originale)



Photo 19 : CR



Photo 20 : CR Sp1%



Photo 21 : CR Sp0,5%



Photo 22 : CRPC



Photo 23 : CR PC Sp 1%



Photo 24 :CR PC Sp0,5%

**Figure 15** : Différentes types de couscous humide (photo originale)



Photo 25 : précuisson



Photo 26 : gâteau du couscous précuit



Photo 27 : émottage



Photo 28 : calibrage sur TKe.

**Figure 16** : Etape de précuisson et calibrage (photo originale)



**Figure 17 : Séchage de couscous (photo originale)**

## **7-Appréciation de la qualité du couscous sec**

### **7-1-Détermination du rendement**

Le rendement de procédé artisanal de couscous est déterminé par la pesée de couscous sec à l'aide d'une balance de cuisine digitale de marque Terraillon.

$$R = [\text{masse de couscous sec} \times 100] / [\text{masse de semoule utilisée}]$$

$$R = 100 (\text{masse de couscous sec}) / \text{masse de semoule utilisée}$$

R : rendement.

## **7-2-Granulométrie**

Elle est déterminée par tamisage d'un échantillon de 100g, de matière première à l'aide d'un plansichter de laboratoire type RHOTEX pendant 10 minutes et pesée à 0.01g près à l'aide d'une balance de précision analytique de marque KERN.

La granulométrie des couscous secs est réalisée sur une batterie constituée de six tamis standardisés dont les ouvertures de mailles sont : 1450 $\mu$ m ; 1290 $\mu$ m ; 950 $\mu$ m ; 730 $\mu$ m ; 614 $\mu$ m ; 554  $\mu$ m .

Le refus de chaque tamis est pesé et permet d'exprimer sa proportion en pourcentage massique du produit à caractériser.

## **7-3-Masse volumique**

Une éprouvette de 100 ml est utilisée pour déterminer le volume occupé par 25  $\pm$  0,01gde couscous sec (ANGAR et BELHOUCHE, 2002). La masse volumique de ces échantillons est ensuite exprimée en g/ cm<sup>3</sup>.

## **8- Qualité culinaire**

### **8-1 Gonflement**

Le gonflement renseigne sur la capacité d'absorption d'eau du couscous.

Un échantillon de 20g de couscous cru est versé dans une éprouvette graduée de 100 ml contenant 50 ml d'eau distillée (à 25°C et à 100°C). L'éprouvette est bouchée. On effectue 10retournements successifs de manière à bien hydrater l'ensemble des particules. On ajoute 50 ml d'eau pour faire descendre les particules restées collés le long de la paroi. Celle-ci est laissée au repos puis on note le volume du couscous après 5, 10, 20, 30, 40, 50, et 60mn. On détermine le gonflement (G) selon la relation (GUEZLANE et ABECASSIS, 1991) :

$$G\% = 100 (V_f - V_i) / V_i$$

Vi: volume initial de couscous

Vf : volume final de couscous

### **8-2 Degré de délitescence**

La délitescence constitue un paramètre de la qualité culinaire du couscous et représente un critère fondamental de la qualité organoleptique du couscous cuit.



### **8-2-1 Préparation des échantillons**

La préparation consiste en une cuisson rapide. Une prise d'essai de 10g de couscous sec est placée dans un bécher de 200ml et hydratés avec 16.5ml d'eau distillée bouillante salée à 5g/l. Après addition de l'eau, le bécher est immédiatement recouvert et placé pendant 12min dans une étuve maintenue à 90°C (GUEZLANE et ABECASSIS, 1991).

### **8-2-2 Evaluation du degré de délitescence du couscous cuit**

Un volume de 50 ml d'eau distillée à 25°C est ajouté au couscous cuit dans un bécher de 200ml. Après une agitation durant 6mn par un agitateur magnétique ; le surnageant est récupéré par filtration sur un tamis d'ouverture de maille 1000µm. Une partie aliquote de 10ml est séchée dans l'étuve à 100°C jusqu'au poids constant.

Le degré de délitescence (DD%) exprimé pour 100g de matière sèche (couscous sec étudié) est donné par la relation :

$$DD\% = (ES \times 5 \times 100) \times 100 / 10 (100 - H)$$

ES : extrait sec (g) issu des 10 ml de prise aliquote;

H : teneur en eau du couscous en pour-cent.

### **8-3-Test de cuisson (ABECASSIS, 1987).**

Ce test consiste à déterminer le taux de prise en masse du couscous lors de la préparation par cuisson d'une quantité de 100 g de couscous cru (sec) et suivre les modifications rapportées sur le poids après chaque étape de préparation (mouillage et évaporation).

### **8-4-Détermination des paramètres de cuisson des couscous**

La cuisson ménagère du couscous consiste à hydrater et à réchauffer alternativement le produit, généralement deux fois, en vue de sa consommation. Il est nécessaire donc de déterminer ces deux paramètres essentiels : la quantité d'eau de réhydratation (c'est-à-dire le volume d'eau ajouté au couscous avant la première cuisson plus le volume d'eau ajouté avant la deuxième cuisson) et le temps de cuisson à la vapeur.

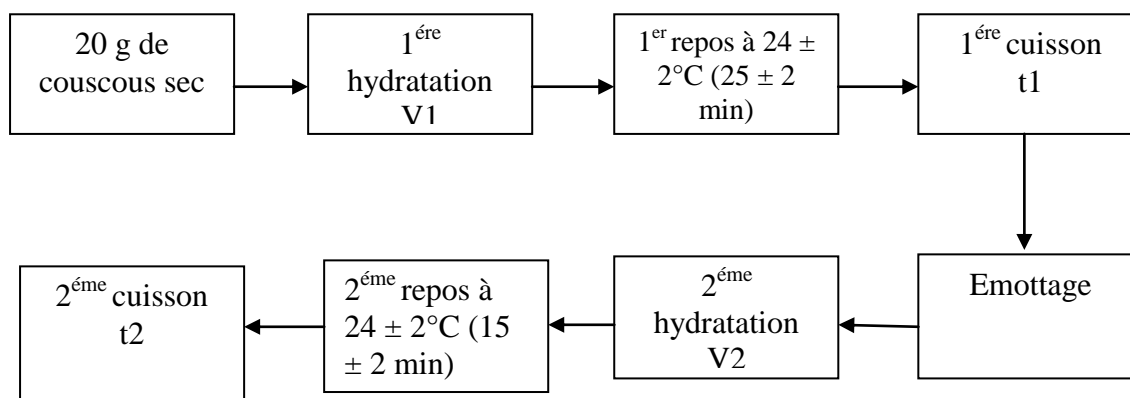
La cuisson est réalisée à l'aide d'un petit couscoussier (voire **Figure18**) sur un échantillon de 20g de produit sec selon le diagramme représenté par la **Figure 19**. L'eau utilisée pour l'hydratation du couscous sec est une eau distillée salée à 5g/l.



**Figure 18** : Couscoussier pour test de cuisson (photo originale)

Les dimensions du couscoussier utilisé au laboratoire pour la cuisson sont comme suit

- récipient supérieur :
  - diamètre du fond égale à 73mm ;
  - diamètre du haut égale à 94mm ;
  - hauteur : 40mm
  - nombre de trous: 4 trous/100 mm<sup>2</sup>
- récipient inférieur :
  - capacité égale à 0.3l



**Figure19:** Diagramme de cuisson du couscous

#### 8-4-1 Détermination de la capacité d'hydratation

La capacité d'hydratation(CA) consiste à mesurer la quantité d'eau résiduelle après gonflement de 20g de couscous sec dans 100 ml d'eau distillée à 100 °C pendant 1<sup>ère</sup>heure. Elle est donnée par la relation (YOUSFI, 2002) :

$$CA \text{ (ml/100g MS)} = \frac{V_i - V_f}{20 \times (100 - H) / 100} \times 100$$

$V_i$  : volume initial de l'eau (100ml) ;

$V_f$  : volume final de l'eau ;

H : teneur en eau du couscous en pour-cent.

#### 8-4-2 Détermination du temps de cuisson

Le temps optimum de cuisson du couscous selon les enquêtes de YOUSFI (2002) et DEROUICHE (2003) est le temps nécessaire pour que les grains soient tendres sans qu'ils soient collants ou pâteux.

Les méthodes normalisées pour l'appréciation de la qualité culinaire des spaghettis reposent sur le degré de gélatinisation de l'amidon testé par un écrasement de l'échantillon ce qui est difficile à appliquer dans le cas des autres formes de pâtes alimentaires.

Dans notre cas nous avons suivi cette gélatinisation par les transformations

Comportementales du couscous. A la surcuisson les pâtes perdent leur individualisation et tendent à donner des masses collantes. En effet la pratique

culinaire a montré que des pâtes mal-cuites colleront, tout comme des pâtes trop cuites (BOUCHEHAM ,2009).

Donc nous avons conclu sur cette base que le temps optimum de cuisson correspond à un état intermédiaire donnant des grains les moins collants ; ce qui est déterminé par l'indice de prise en masse (I P M T) du couscous cuit. C'est le même principe utilisé par YOUSFI (2002).

Le couscous est cuit à la vapeur d'eau à  $99\pm 1^{\circ}\text{C}$  pendant : 8min, 12min, 16min, 20min et 24min. Chaque temps est divisé en deux durées égales (première cuisson et deuxième cuisson) séparées par une hydratation et un temps de repos.

A la fin de la deuxième cuisson, l'échantillon subit un émottage puis un tamisage pendant 1min avec un tamis d'ouverture de maille  $3300\mu\text{m}$ . Le refus est pesé et l'indice de prise en masse par tamisage (IPMT) est évalué selon la formule (GUEZLANE, 1993) :

$$\text{I P M T (\%)} = (\text{refus } 3300 \mu\text{m} / \text{prise d'essai})$$

## **9-Composition biochimique de couscous**

La détermination de la composition biochimique de couscous a été établie selon le même principe cité pour la matière première .

**9-1-Taux d'humidité** :paragraphe4-2

**9-2-Dosage des cendres** :paragraphe4-3

**9-3-Dosage des protéines** :paragraphe 4-4

**9-4-Dosage des lipides libres** :paragraphe 4-5

**9-5-Dosage de l'amidon** : paragraphe 4-6

**9-6-Dosage des sucres totaux** : paragraphe 4-7

## **10-Qualité nutritionnelle du couscous**

La détermination du taux de protéines, lipides et glucides permet de calculer la valeur énergétique pour chaque échantillon étudié suivant la formule ;

Valeur énergétique en Kcal = 4glucides +4protéines +9lipides

## **11-Evaluation sensorielle des couscous cuits**

La qualité culinaire (tenue à la cuisson, couleur, collant et fermeté) des couscous est évaluée par notation tel que décrit par la norme AFNOR NF V09 - 014 d'avril 1982 (AFNOR, 1995). Les sujets doivent exprimer leurs avis concernant les critères de l'échantillon sur une échelle de notation à neuf points. Les critères choisis sont : la délitescence, la couleur, le collant, la fermeté et l'odeur.


Un jury composé de 20 sujets non experts mixte composé des adolescents, des femmes et des hommes, dont trois membres étrangers (deux maliens et un tchadien) et d'âge différent a été invité à l'évaluation sensorielle des couscous cuits.


Avant évaluation, les caractères sensoriels optimums ont été décrits et expliqués aux sujets.


Les essais de dégustation ont été réalisés le matin. Chaque assiette contenait environ 20 à 30g de couscous cuit est refroidi jusqu'à 45°C. Les assiettes sont codées et présentées avec les formulaires de réponse (Figure 20). Après notation les sujets précisent leur préférence pour les couscous analysés.


N° de poste :  
Nom & prénom :  
Age :  
DATE:


Six échantillons (A,B,C,D,E,F) de couscous vous sont proposés. Jugez leurs caractères en les plaçant sur les échelles ci-dessous :

Délicatescence   
Se délite beaucoup se délite moins

Couleur   
Très foncé très claire

Collant   
Très collant pas collant

Fermeté   
Très tendre très dur

Odeur   
Repoussante très appréciable

Quel couscous préférez-vous ?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Figure 20** : formulaire de réponse pour évaluation sensorielle.

## Résultats et Discussions

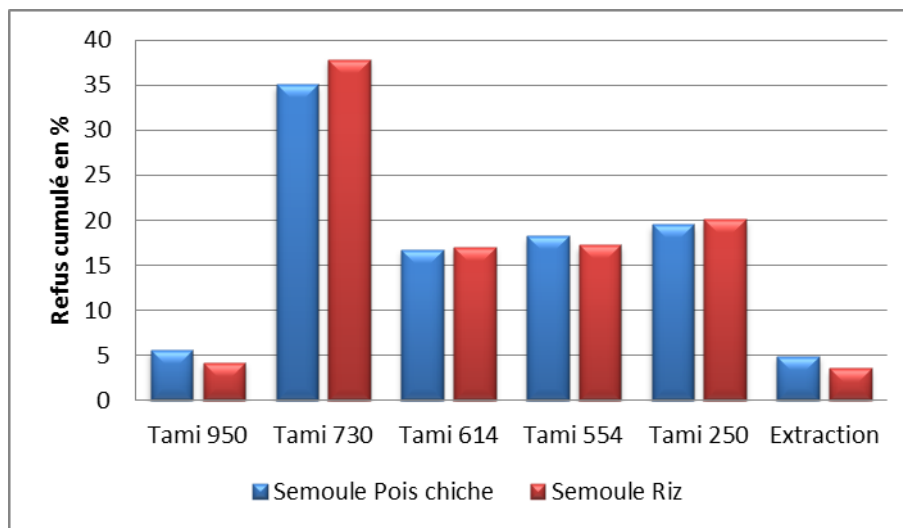
### 1-Caractéristiques dimensionnelles des grains utilisés :

**1-1-Le riz :** Ses caractéristiques dimensionnelles mesurées sur cinq petits lots de 10 grains pris au hasard sont : une longueur moyenne  $7,05 \pm 0,2$  mm et un diamètre moyen  $2,28 \pm 0,05$  mm. Le rapport entre la longueur et le diamètre est supérieur à 3 permet de classer notre échantillon comme étant riz long selon FAO (1996).

**1-2-Le pois chiche :** Le pois-chiche, *Cicer arietinum*, est récolté en 2012. Il appartient à la variété *FLIP-90-13C G1*. Il présente une forme anguleuse et une couleur beige. D'après les résultats de caractérisation de dimension le pois chiche utilisé est de diamètre moyen :  $8,0 \pm 0,6$  mm,

### 2-Caractéristiques physico-chimiques des différentes matières premières

#### 2-1-Granulométrie



**Figure 21 :** Granulométrie de semoules utilisées dans la fabrication des couscous en pourcentage massique.

La distribution granulométrique de la semoule est un facteur déterminant du fait qu'elle affecte les propriétés d'absorption des pâtes et par conséquent elle influe sur la qualité du produit fini (DICK ET MATSUO, 1988 *in* MEZROUA, 2011).

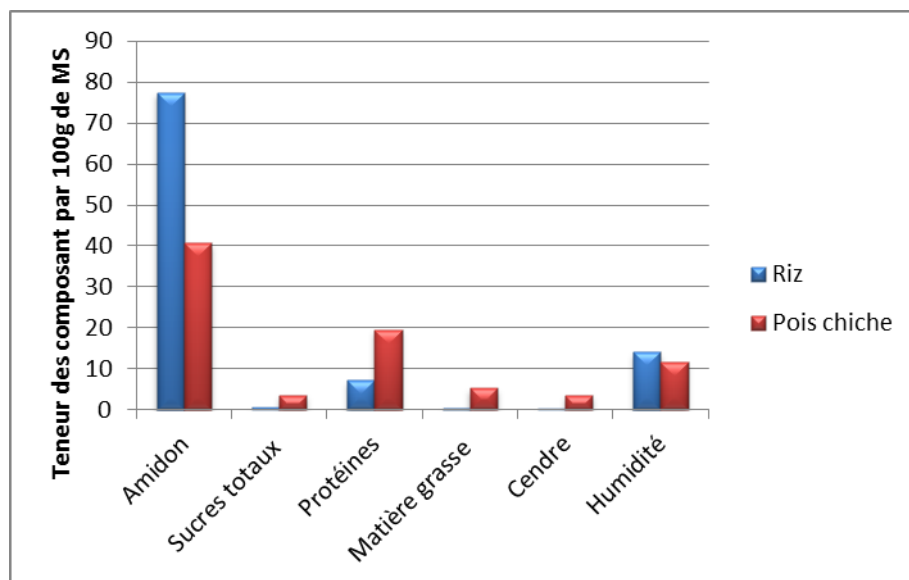
La Figure 21 représente la distribution granulométrique de semoules utilisées dans la préparation de couscous. D'une part on note une granulométrie homogène pour les deux types de semoule utilisé et d'autre part nous pouvons partager les particules des semoules en deux fractions granulométriques importantes: Les fractions de

granulométrie [550-950[ $\mu\text{m}$  qui représente 70,06% la semoule de pois chiche et 72,14% pour la semoule de riz et une fraction [250-550[ $\mu\text{m}$  qui représente 19,49% pour la semoule de pois chiche et 20,09% pour la semoule de riz, avec un faible pourcentage de fraction granulométrique  $>$  à 950  $\mu\text{m}$  qui est égale à 5,57% et 4,21% respectivement.

Donc notre semoule correspond à la proportion de mélange destiné à l'obtention du couscous (20 à 30% pour la semoule fine et 70 à 80% pour la semoule grosse) citée par le Codex Standard 202-1995.

## 2-2-Composition biochimique des matières premières (Semoule de riz et de pois chiche)

La composition biochimique de la matière première utilisée à savoir la semoule de riz et la semoule de pois chiche est représentée par la Figure 22



**Figure 22 :** Composition biochimique des matières premières par 100g de matière sèche.

Les teneurs moyennes des constituants majeurs de chaque matière première utilisée pour la fabrication de couscous sont exprimées en (% MS) sont indiqués dans la Figure 22.

### ➤ La semoule de Riz :

La semoule de riz présente un taux d'humidité, conforme aux normes du *Codex Alimentarius* (FAO, 2007) qui donne une limite maximale de 15 %. Pour les protéines



et vu le facteur de conversion utilisé dans notre travail (6,25), notre résultat 7,19 % se concorde avec la valeur habituellement attribuée à la teneur du riz usiné en protéines (7 %), sur la base d'un facteur de conversion de 5,95 (FAO, 1990 ) et la valeur citée par VIERLING (2008) qui est 7%.

La teneur en lipides est légèrement supérieure à 0.3% et 0.5 % donnée respectivement par MOHTADJI et LAMBALLAIS (1989) et la FAO (1990) et t se concorde avec la valeur citée par VIERLING(2008) qui est 0,6% pour le riz blanc.

La teneur en cendres se situe vers la borne inférieure de l'intervalle 0.3-0.8 % cité par LAIGNELET (1998).

Pour l'amidon et les sucres simples les résultats indiquent que l'amidon constitue un élément majeur 77,46% valeur qui est très proche de la valeur indiquée par VIERLING (2008), qui est de 78%, contrairement aux sucres simples qui sont minoritaires, 0,7% il s'agit principalement de saccharose d'après LAIGNELET (1998).

➤ **La semoule de Pois chiche :**

La semoule de pois chiche renferme, une teneur en eau de 11.68% nettement inférieures au niveau fixé par la norme du CODEX STAN 171-1989, év. 1-1995, (14 % pour le pois chiche) (FAO, 2007) mais qui se rapproche de la valeur cité par VIERLING (2008) qui est égale à 11% et des résultats trouvé par BOUCHEHAM (2009) (10.86%) qui à travaillé sur la même variété locale de la région de Constantine.

La teneur en protéines de pois chiche utilisé (19,63%) se situe dans l'intervalle 13 - 24,9% cité par VIERLING (2008) et elle est du même ordre de la valeur indiquée par BRINK et BELAY, (2006) qui est de 19,3 %.

Pour les lipides on note que le pois chiche est riche en gras 5,29% cette valeur est légèrement supérieure de la valeur extrême cité par ROUDAUT, et LEFRANCQ (2005) qui donnent des valeurs de 3,5- 5% et inférieur à la valeur cité par BRINK et BELAY (2006) qui est égale à 6% .

Les valeurs de l'amidon et des sucres simples (40,65% et 3,59% ) se rapprochent avec les valeurs données par FAO (1990 ) qui sont 55,6% et 5,1 % respectivement.

Par ailleurs pour les cendres on note que le pois chiche est riche en matière minérale 3.60%, Cette valeur est légèrement supérieure à 2 ,9% donnée par FAO (1990) et très proche de 3,58% BOUCHEHAM (2009) qui à effectuer la recherche sur la même variété locale. Elle est comprise dans l'intervalle de la teneur en cendres rapportée par ROUDAUT et LEFRANCQ (2005) (2,7- 4 %).

### 3- Qualité des couscous fabriqués

#### 3-1- Bilan de rendement

Le rendement exprimé en g de couscous sec / 100g de matières premières est représenté pour l'ensemble de nos couscous dans le Tableau 11

**Tableau 11** : Bilan de fabrication des couscous de différentes formules

|                     | Quantité de semoule(g) | Quantité d'eau (ml/ 100g) | Quantité de couscous sec (g) | Refus kessar ettoub g/1 ,5kg | Rendement (%) |
|---------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------|
| <b>CR</b>           | 1500                   | 32                        | 1334                         | 20                           | 88,93         |
| <b>CR/PC</b>        | 1500                   | 30                        | 1370                         | 00                           | 91,33         |
| <b>CR/ Sp 1%</b>    | 1500                   | 27,5                      | 1164                         | 16                           | 77,6          |
| <b>CR/Sp 0,5%</b>   | 1500                   | 27,5                      | 1099,5                       | 12                           | 73,3          |
| <b>CR/PC / Sp1%</b> | 1500                   | 27                        | 1278                         | 00                           | 85,2          |
| <b>CR/PC/Sp0,5%</b> | 1500                   | 26 ,5                     | 1261,01                      | 00                           | 84,06         |

Le rendement au roulage est corrélé positivement à l'absorption de l'eau par les semoules (DEBBOUZ *et al.* 1994). Selon DAHOUN-LEFKIR (2005), l'accroissement du taux d'hydratation augmente les rendements en couscous et en grumeaux et diminue les rendements en semoules non agglomérées.

D'après les résultats indiqués dans le Tableau11,les rendements en couscous des six formules est corrélé avec le taux d'hydratation sauf que on note que pour les formules de riz sans pois chiche ( **CR** ,**CR/ Sp 1%** et **CR/Sp 0,5%**) un taux d'hydratation un peu supérieur par rapport aux formules avec pois chiche (**CR/PC**, **CR/PC / Sp1%**, **CR/PC / Sp0,5%**) mais avec un rendement un peu inferieur ; cela due à la prise en masse constaté avec les formules sans pois chiche lors de l'émottage et calibrage après précuisson de couscous (Figure 15) ,considérée comme perte . Alors que l'introduction de semoule de pois chiche au riz élimine totalement

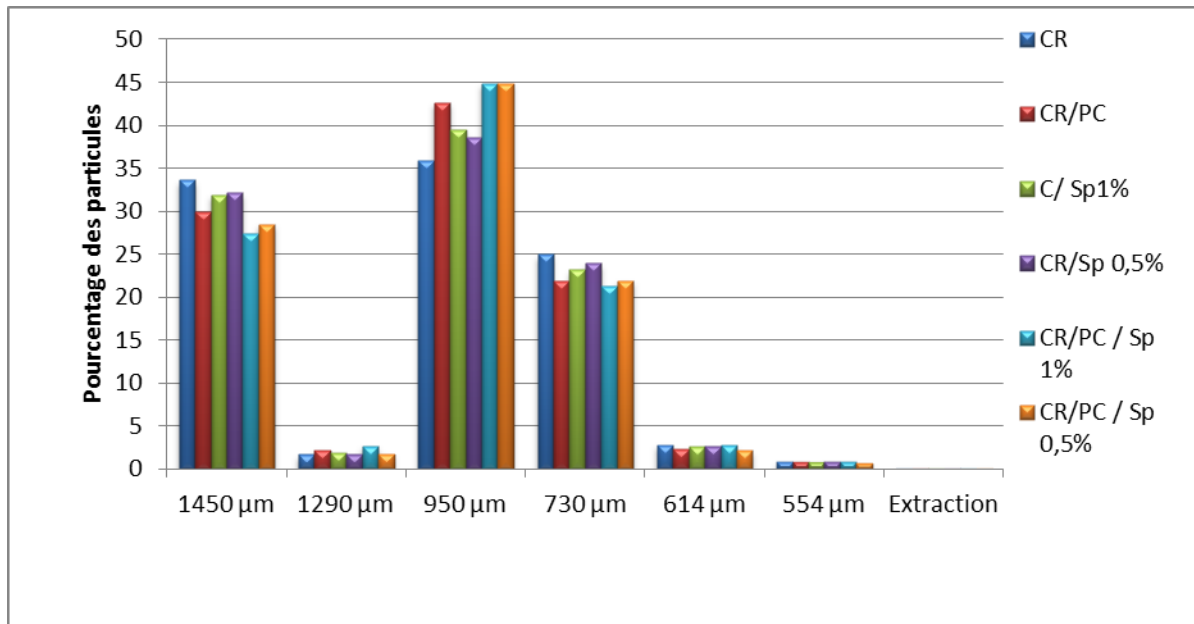
ce refus de tamis **kessar ettoub** à cette étape car on a observé un passage totale de couscous pour les formules incorporé de semoule de pois chiche cela est du à la richesse de pois chiche en matière grasse et en fibres , OUNANE *et al.*, (2006) rapporte que la fabrication d'un couscous à partir des semoules délipidées entraîne d'une part une diminution du rendement en couscous et d'autre part l'augmentation du collant, de la délitescence .

Ainsi un taux décroissant ce refus est aussi observé lors de l'incorporation de la spiruline ce qui augmente le rendement avec l'ajout de la spiruline, pour nos résultats le rendement élevé obtenue pour le couscous de riz 88,93 % est due au nombre élevé de recyclage de **fetla** adopté par la fabricante pour ce dernier par rapport au couscous **CR/Sp1%** et **CR/Sp0,5%** .

Donc la différence de rendement peut être due à différents facteur à savoir : le taux d'hydratation, le nombre de recyclage du produit passant du tamis **reffad (fetla)**, La composition biochimique de la semoule utilisé principalement les lipides.

Notons aussi que nos résultats sont supérieurs aux résultats obtenus par BENATALLAH (2009) ,(60,8%) sur le couscous de riz pois chiche et se rapproche avec celles de semoule de blé (82%) dur cité par le même auteur .cette différence est probablement due à la granulométrie de la semoule et au ouvertures des tamis utilisé .

### 3-2-Granulométrie



**Figure 23:** Pourcentage des particules de différentes formules de couscous cumulées en fonction des ouvertures des mailles.

La granulométrie du couscous et son homogénéité sont considérées parmi les paramètres essentiels qui définissent sa qualité pour la majorité des consommateurs (GUEZLANE, 1993 ; YOUSFI, 2002). Ainsi, la granulométrie a un effet évident sur sa qualité culinaire notamment le gain du poids (absorption) et le temps de cuisson (ANGAR et BELHOUCHE, 2002).

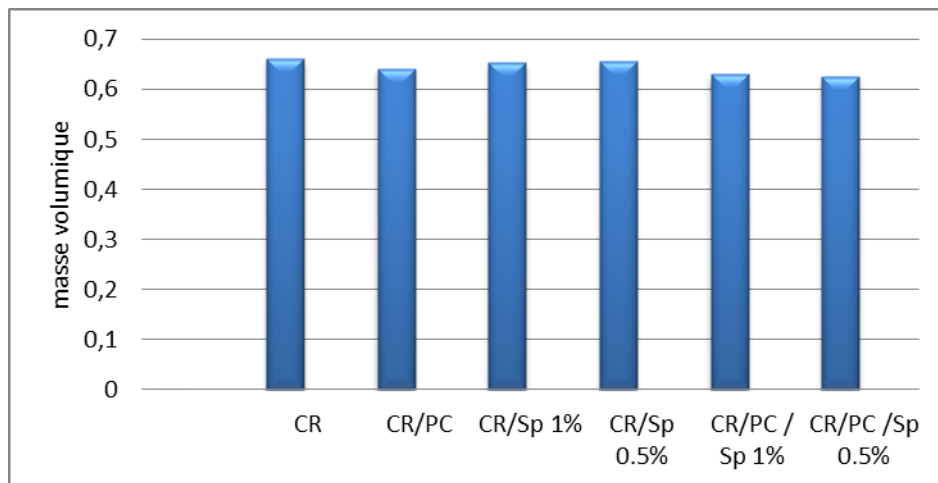
La granulométrie de couscous est comprise entre [630- 2 000] µm, avec une tolérance de 6 %. Codex (FAO, 2007)

La détermination de la granulométrie permis de classer le couscous selon la taille des particules, dans notre cas on a utilisé un plansichter de laboratoire au niveau de la semoulerie SIM , l'analyse des résultats obtenus et représenté dans la Figure 23 montre une régularité de pourcentage des particules a travers les différentes tamis entre les différentes formules , alors que on note un cumule important de refus sur le tamis le plus gros **1450** µm et de tamis moyen **950** µm ( gros et moyen couscous ) et avec un taux très faible de particules de taille [**1290 -1450** ]µm et [**614-730**]µm .un taux négligeable de particules[**554- 614** ]µm à été obtenue .Concernant les particules à dimension inférieur à **554** µm sont presque nul due à l'opération de tamisage de

couscous après séchage par le tamis *Takida* (500  $\mu\text{m}$ ) appliqué par la fabricante lors de la fabrication de couscous.

La taille et l'homogénéité des grains du couscous dépendent pour une large partie aux conditions de roulage (ouvertures des mailles des tamis utilisés) et à la granulométrie de la semoule utilisée. L'addition de la spiruline et de semoule de pois chiche n'affecte pas vraiment la taille des particules du couscous fini mais on a noté une légère diminution de taux de particules supérieures à 1450  $\mu\text{m}$  en fonction du taux de l'incorporation de semoule de pois chiche et de la spiruline par rapport au couscous de riz s'explique par la diminution de formation de gros agglomérés.

### 3-3-La masse volumique



**Figure 24** : représentation de la masse volumique de différentes formules de couscous

La masse volumique exprime une quantité de matière par unité de volume. Elle est influencée par différents facteurs principalement l'importance de l'espace inter-granulaire (SCOTTI, 1984) et le degré de compacité des granules de couscous (GUEZLANE, 1993).

Les résultats obtenus (Figure 24) montrent que le couscous de riz présente une masse

volumique supérieure ainsi l'ajout de la spiruline et du pois chiche diminue un peu la masse volumique peut être expliqué par la taille des particules de couscous. En général, les résultats de nos échantillons de couscous concordent avec les résultats de BOUCHEHAM N (2009) 0,68 et BENATALLAH, (2009) 0,67 pour le couscous de

riz pois chiche et légèrement inférieur à la masse volumique de couscous de blé dur (0,75) et ( 0,77) citée par les mêmes auteurs respectivement malgré la différence notée concernant les conditions de roulage (précuisson de la semoule avant roulage et l'utilisation de la semoule fine ainsi que l'utilisation de tamis *Kherredj* à 1250µm alors que nous avons utilisé un tamis *Kherredj* de 2000µm).

### 3-4-Qualité culinaire :

#### 3-4-1-Gonflement à froid et à chaud du couscous :

Les résultats de gonflement à froid (25°C) et à chaud (100°C) de différentes formules de couscous sont représenté par les Figures 25 et 26 respectivement

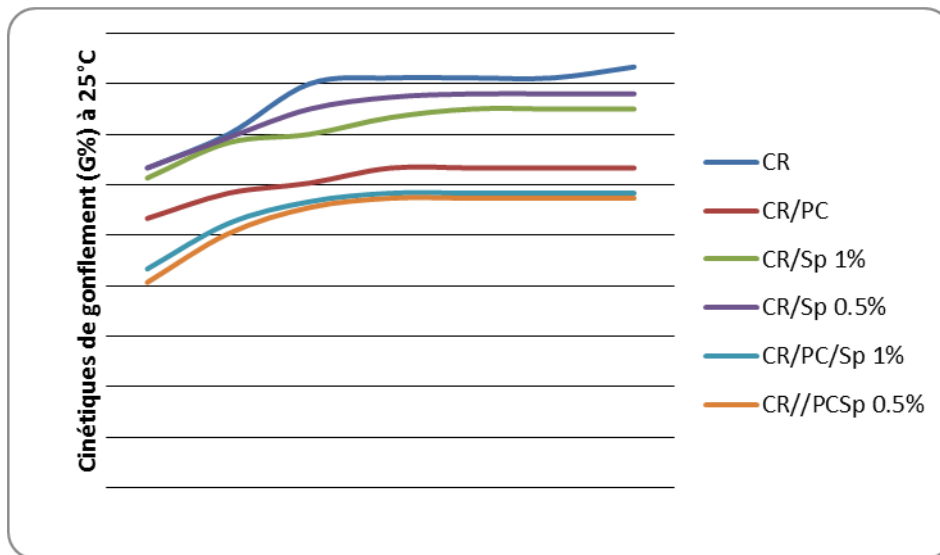


Figure 25: Cinétiques de gonflement de différentes formules couscous à 25°C

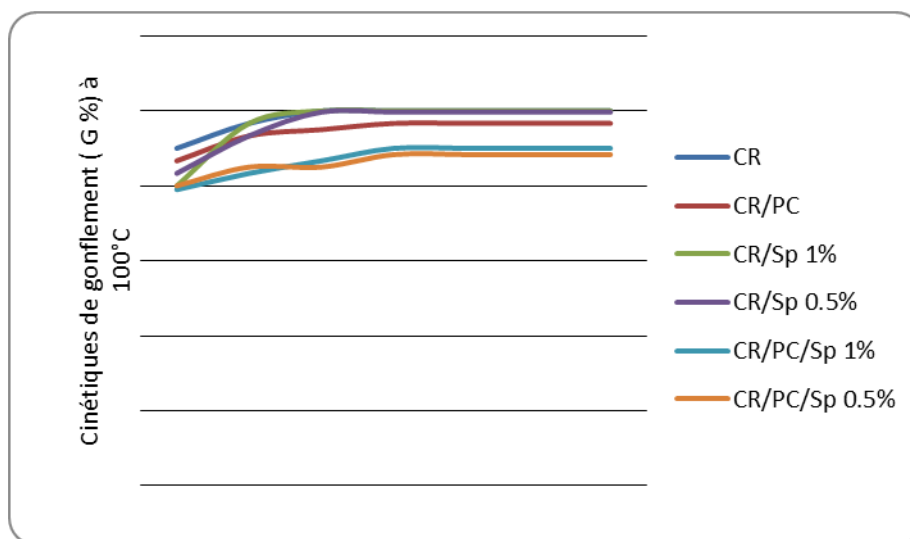


Figure 26 : Cinétiques de gonflement de différentes formules couscous à 100°C

A travers les résultats illustrés dans les Figures 25 et 26 respectivement, on remarque que le gonflement des couscous secs dans de l'eau à 25°C et à 100°C passe d'une manière générale par une phase d'accélération et une phase stationnaire.

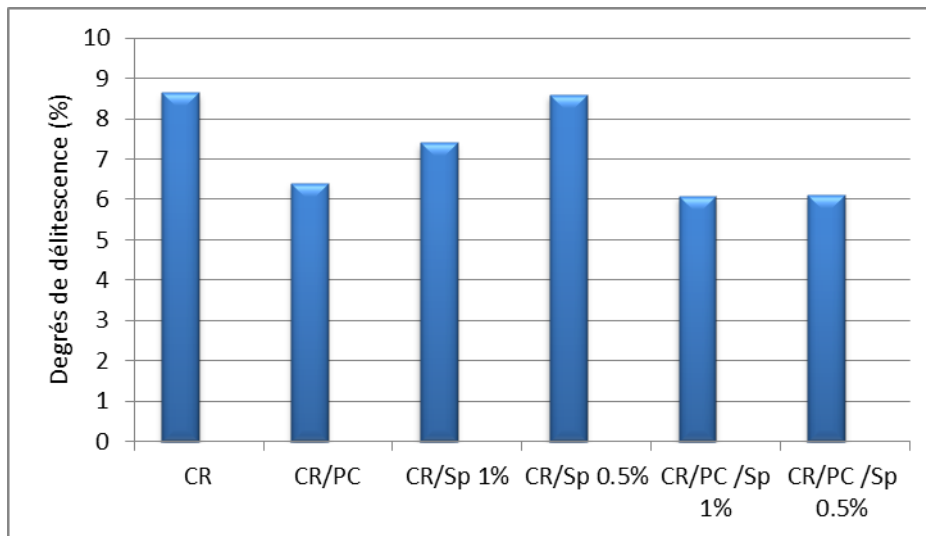
Le gonflement à 25°C (Figures 25) semble commencer à se stabiliser à 20 min pour le CR et à 30 min pour les différentes formules après immersion et contact. Une nette différence est observée entre le comportement du couscous de riz et ceux des autres formules non seulement le couscous de riz gonfle plus rapidement 70% à 10 mn contre moins de 70 % pour les autres formules mais il absorbe plus d'eau. L'incorporation de pois chiche et ou la spiruline diminue un peu le gonflement à froid.

L'évolution de la valeur moyenne du gonflement des couscous à 100°C présentée dans la Figure 26 montre le changement de comportement de différentes formules de couscous. L'allure des courbes montre une vitesse de gonflement plus grande à 100°C à partir de 5 mn pour l'ensemble des couscous en comparant avec le gonflement à froid et le maximum est atteint à 20 mn. Les couscous incorporés de semoule de pois chiche absorbent de la même manière et un peu moins (IG =**96,66%**) par rapport au couscous de riz sans ou avec spiruline (IG =**100%**).

Selon YOUSFI (2002), le gonflement du couscous est en corrélation positive avec sa masse volumique ce qui se concorde avec nos résultats. Le comportement de gonflement dépend aussi de l'espèce botanique et du type cristallin de l'amidon natif (BULEON *et al.*, 1990). En effet, plusieurs auteurs confirment qu'il n'existe pas un seul mais plusieurs amidons ayant des propriétés voisines mais différents selon leurs origines botaniques (FAISANT, 1992 ; BULEON *et al.*, 1990 ; GUENGUEN et LEMARIE, 1996). Les amidons des légumineuses sont de type cristallin C, alors que la plupart des amidons des céréales sont de type A (CHAMP et FAISANT, 1992). Les amidons des légumineuses se caractérisent par rapport aux amidons des céréales par une teneur élevée en amylose (GUENGUEN et LEMARIE, 1996). CHEFTEL et CHEFTEL (1984) confirment que du fait de sa nature cristalline l'amylose ne gonfle qu'à une température élevée.

Les valeurs élevées du gonflement de couscous sont indicatives d'un produit de haute qualité (GUEZLANE et ABECASSIS 1991 ; GUEZLANE, 1993 ; OUNANE *et al.*, 2006)

### 3-4-2-Degrés de délitescence



**Figure 27** : Degré de délitescence des différents échantillons de couscous (%).

La délitescence correspond à l'aptitude des particules de couscous à conserver leur Intégrité durant et après cuisson. D'après OUNANE *et al.* 2006, des couscous qui se délitent peu sont des produits de très bonne qualité ;

La désagrégation du couscous est un facteur important pour la détermination de la qualité culinaire de couscous (YETTOU, 1998).

Les résultats de désagrégation des échantillons de couscous sont représentés dans la Figure 27.

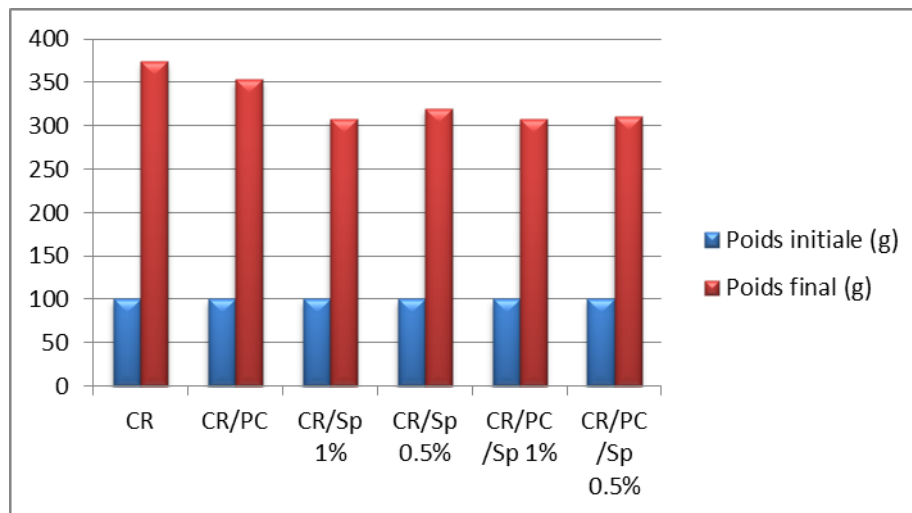
L'analyse détaillée des résultats des échantillons de couscous montre que la délitescence de couscous de riz présente la valeur la plus élevée alors que les couscous incorporé de semoule de pois chiche et de spiruline présente des valeurs plus faible en corrélation positif avec l'augmentation de taux de spiruline (Figure 27). COLONNA et ROUAU (1986) *in* MEZROUA (2011), ont souligné que l'amidon est altéré par les traitements physiques. Lorsque les grains d'amidon soumis à un traitement en milieu aqueux, ils gonflent en absorbant de l'eau, tandis qu'une fraction des chaînes passe en solution, essentiellement de l'amylose.

Notons aussi que nos résultats concernant le couscous riz pois chiche (6,41%) est légèrement supérieur à la valeur trouvée par BOUCHEHAM (2009) (5,85%) cette différence peut être due à l'absence de l'étape de précuisson de semoule avant roulage. D'après les résultats de BENATALLAH *et al.* (2006), la perte de matière sèche de couscous est inférieure à celle d'un couscous fabriqué sans étape de précuisson des matières premières.



Ainsi nos résultats sont supérieures au degré de délitescence de couscous de semoule de blé dur cité par YETTOU et al (2000) (4-6%) ce qui peut surprendre puisque les formules ne contiennent pas de gluten.

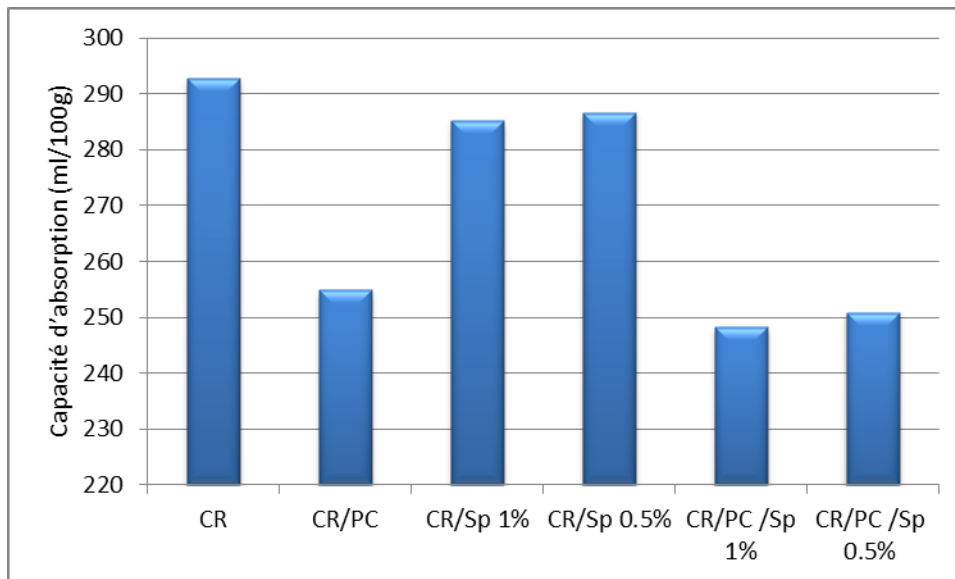
### 3-4-3-Test de cuisson



**Figure 28** : poids de couscous après cuisson

Le teste de cuisson est un critère important dans l'appréciation de la qualité culinaire. Selon GUEZLANE(1993), un bon couscous doit absorber deux fois son poids d'eau pendant la cuisson et conserve une certaine fermeté et viscoélasticité et ses grains doivent rester bien individualisé sans se déliter ni se coller entre eux. Selon nos résultats (Figure 28) le couscous de riz présente le poids le plus élevé après cuisson alors que l'incorporation de la spiruline et la semoule de pois chiche diminue un peu l'absorption d'eau cela est due d'une part la teneur plus élevée d'amidon (80,26%) que on a enregistré par rapport aux autres formules et à la richesse en lipides surtout pour les formules incorporé de semoule de pois chiche. D'après NAMOUNE *et al.* (2004), la matière grasse joue effet négatif sur le gonflement. BULEON *et al.* (1990) rapportent qu'une interaction importante des acides gras et des monoglycérides avec l'amylose (complexe amylose-lipide) a pour effet de modifier la répartition de l'amylose, le gonflement de l'amidon et le mode de rétrogradation.

### 3-4-4-Capacité d'absorption



**Figure 29** : capacités d'absorption des couscous fabriqués p.100g de couscous sec

Les résultats de capacités d'absorption des couscous fabriqués couscous sec illustrés dans la Figure 29 confirment les résultats du test de gonflement et le test de cuisson qui montre que les couscous de riz absorbe plus d'eau alors que l'incorporation de la semoule de pois chiche et la spiruline diminue la capacité d'hydratation cela est due à la composition biochimique.

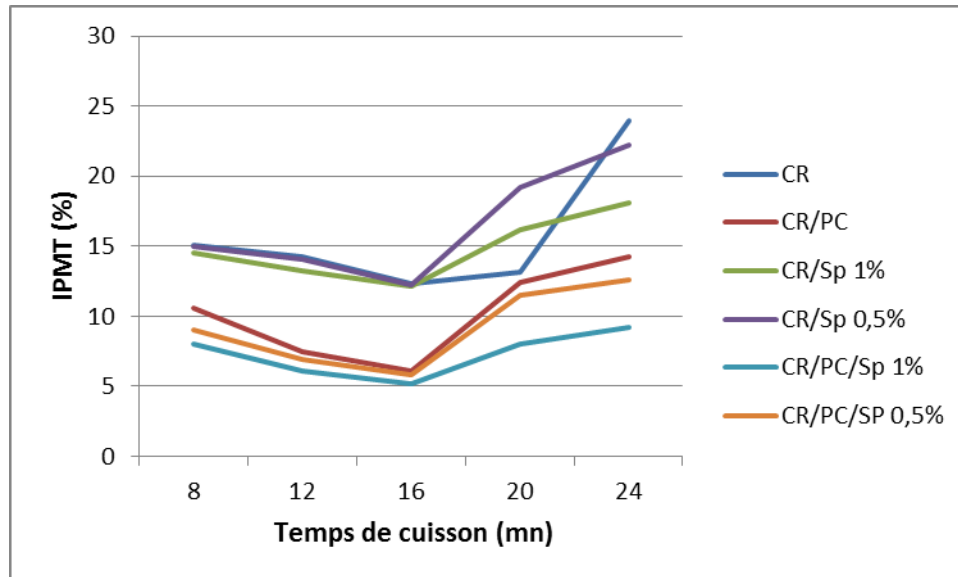
Selon DEBBOUZ et DONNELLY (1996), la capacité de couscous d'absorber rapidement la sauce et de maintenir sa fermeté est considérée comme indicateur de couscous de bonne qualité. L'indice d'absorption est utilisé pour estimer ce facteur de qualité. Si le couscous n'absorbe pas l'eau en quantité suffisante, il demeure dur et manque de la tendreté désirée.

### 3-4-5-Temps de cuisson

Selon BULEON *et al.* (1990), en présence d'un excès d'eau et soumis à une température supérieure à 60°C, le grains d'amidon passe successivement par trois état: le grain gonflé, le grain gélatinisé et le grain solubilisé (ou empois).

Les granules gonflent du fait d'une adsorption d'eau sur les groupements polaires hydroxyle, à ce moment la viscosité de la suspension d'amidon augmente considérablement parce que les granules gonflés adhèrent les uns aux autres. Si le traitement hydrothermique est prolongé, il peut y avoir éclatement des granules, hydrolyse et dissolution plus ou moins complète, ce qui provoque un abaissement de la viscosité (CHEFTEL et CHEFTEL, 1984).

A la surcuisson les pâtes perdront leur individualisation et tendent à donner des masses collantes. En effet la pratique culinaire a montré que des pâtes mal-cuites colleront, tout comme des pâtes trop cuites (BOUCHEHAM, 2009).



**Figure 30 :** Indice de Prise en Masse (IPMT) de différentes formules de couscous

Le calcul d'un Indice de Prise en Masse du couscous (IPMT) permet d'évaluer le collant de couscous qui est un critère de viscoélasticité, Il rend compte de l'agglutination des particules de couscous entre elles après hydratation. OUNANE *et al.* (2006) ont trouvé que les valeurs de l'indice de prise en masse (IPMT) sont comprises entre 8,2 – 32,6 % pour différents types de couscous ainsi de faibles valeurs de prise en masse (collant) sont des indicateurs sur la haute qualité des couscous.

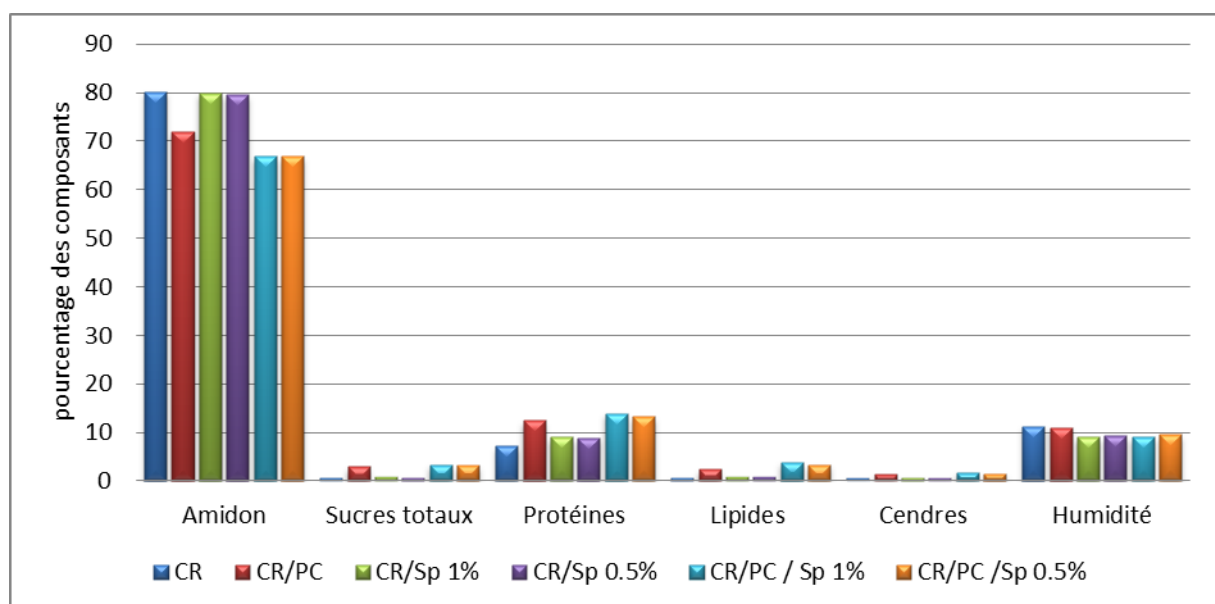
D'après la Figure 30 on enregistre les valeurs les plus faibles de l'IPMT à 16 mn donc à ce temps la cuisson est idéale, ainsi FORTIN (2008), indique que 15 mn de temps de cuisson est suffisante pour le riz blanc. Alors que les valeurs de l'IPMT les plus élevées sont celles enregistrées avec le couscous de riz. Il semblerait selon KHENDEK et GUEZLANE (1994) que la formation de granules de couscous trop compacts ont pour conséquence de fournir des produits collants. Notant que le **CR** présente la fraction la plus élevée en refus de tamis **1450 µm** (33,62%) par rapport aux autres formules, d'autre part on enregistre des valeurs de l'IPMT plus faibles quelque soit le temps de cuisson pour les différentes formules de couscous incorporés de la semoule de pois chiche, il semble que la composition biochimique joue un rôle bénéfique sur la désintégration de couscous principalement les lipides et

les fibres . YOUSFI (2002), a souligné que l'utilisation de la matière grasse comme ingrédient est conseillée pour la préparation du couscous industriel pour améliorer sensiblement la qualité organoleptique et retarder le temps de la prise en masse de produit. D'après NAMOUNE *et al.* (2004), l'addition de matière grasse diminue le collant et la délitescence des grains du couscous, et cela considéré comme un facteur positif pour la qualité culinaire du couscous.

Selon ABOUBACAR et HAMAKER(2000) *in* BOUCHEHAM(2009), une diminution de la prise en masse du couscous est observée après addition de 2% de matière grasse à l'eau de cuisson. Ceci est dû à l'interaction des lipides avec les composants solubles de l'amidon.

On constate que toutes les valeurs de l'IPMT enregistrées pour les couscous incorporés de semoule pois chiche sont même inférieures à la valeur minimale pour le couscous de blé cité par BOUCHEHAM (2009) (12.58 %). Cet avantage nous permet d'allonger le temps de cuisson des couscous des formules contenant la semoule de pois chiche donc éliminer les facteurs antinutritionnels sans risque qu'ils soient collants ou pâteux. C'est le **CR / PC/Sp 1%** qui à les IPMT les plus faibles cela permis de dire que la spiruline aussi joue un rôle bénéfique sur la prise en masse.

### 3-5- Composition biochimique de différentes formules de couscous



**Figure 31** : Composition biochimique de différentes formules de couscous par 100g de matière sèche

L'analyse des résultats obtenue représentés dans la Figure 31 montre que la complémentarité et l'enrichissement de couscous de riz par le pois chiche et la spiruline à un effet très positif sur la composition biochimique de ce dernier :

✓ **La teneur en eau :**

D'après les résultats d'analyses obtenues sur les différentes formules de couscous on note que l'humidité varie de 11,28 % à 9,04%. Cette variation due en 1<sup>er</sup> lieu à l'humidité initiale des semoules à la quantité d'eau utilisé pour le roulage de couscous (sachant que le **CR** et le **CR/PC** ont pris un peu plus d'eau que les autres formules (Tableau11) ainsi qu'au degré de séchage mais, sont des valeurs inférieures au seuil limite cité dans le CODEX STAN 202-1995 (13,5%) et la valeur indiquée par JEANTET et al (2006) (<12,5%) et permis une conservation idéale sans risque d'altération si les conditions de stockage (température, humidité) seront respectées.

✓ **Amidon et Sucres totaux :**

On note que l'amidon diminue considérablement avec l'enrichissement alors les sucres simple s'augmente et cela s'explique par : le pois chiche contient moins d'amidon que le riz alors qu'il est riche en sucre simple (Figure 31) ainsi pour la spiruline la bibliographie n'indique pas la présence de l'amidon mais d'autres polysaccharides sont présents tel que le méso-inositol phosphate (CHALLEM, 1981) et le spirulan (LEE , 2000).

✓ **La teneur en protéines :**

Le riz qui est à la base de la formule proposée présente les plus faibles quantités en protéines (7,25%) des formules de couscous étudiés. Concernant le pois chiche est, plus riches en protéines (Figure 31), le rapport 2/1 utilisé dans ce travail et l'incorporation de spiruline à 1%et 0,5% montre une amélioration considérable dans le niveau en protéines des formules en rapport avec la présence de pois chiche et de la spiruline.

Comme résultat de la complémentarité, toutes les formules étudiées semblent améliorer la balance en acides aminés et enrichir le contenu protéique des couscous fabriqués à base de riz. Selon FORTIN(1996) ; HOUDE (2008) et BAUDAT (2008), la consommation dans le même repas ou dans la même journée et à des proportions de 30% de protéines de légumineuses et 70% de céréales assure l'équilibre

alimentaire. La spiruline est caractérisée par un très fort taux de protéines pouvant atteindre jusqu'à 70 % du poids sec, sur le plan qualitatif, elle offre un éventail complet d'acides aminés dont 47 % sont des acides aminés essentiels (PIERLOVISI ,2008). Dans cette investigation, c'est la formule **CR/PC / Sp1%** qui semble offrir le plus de Protéines avec 13,96% valeur légèrement supérieur à la valeur limite citée par JEANTET et al (2006), ( $\geq 12\%$ ) pour le couscous de blé dur.

✓ **La teneur en cendres :**

Les résultats d'analyses des cendres obtenus sur les différentes formules de couscous montrent que le taux de cendres s'augmente progressivement avec l'incorporation de pois chiche et la spiruline et la formule **CR/PC / Sp1%** présente le taux le plus élevé (1,73%), valeur supérieure à la valeur citée par JEANTET et al (2006) (1,3%) pour le couscous courant de blé dur. Alors on enregistre la valeur la plus faible pour la formule **CR** (0,54%). Ceci est probablement en raison de la richesse de pois chiche et de la spiruline en sels minéraux.

✓ **Les lipides :**

Le contenu en lipides semble quand à lui supérieur dans la formule **CR/PC/Sp1%** (3,95%). On a noté que l'incorporation de la spiruline seule n'améliore pas considérablement le taux de lipides ou on a enregistré des valeurs de : 0,80% pour la formule **CR/Sp 0,5%** et 0,84% pour la formule **CR/Sp 1%** et 0,70 % pour la formule **CR** cela s'explique par le faible pourcentage d'incorporation de la spiruline (1% et 0,5%).

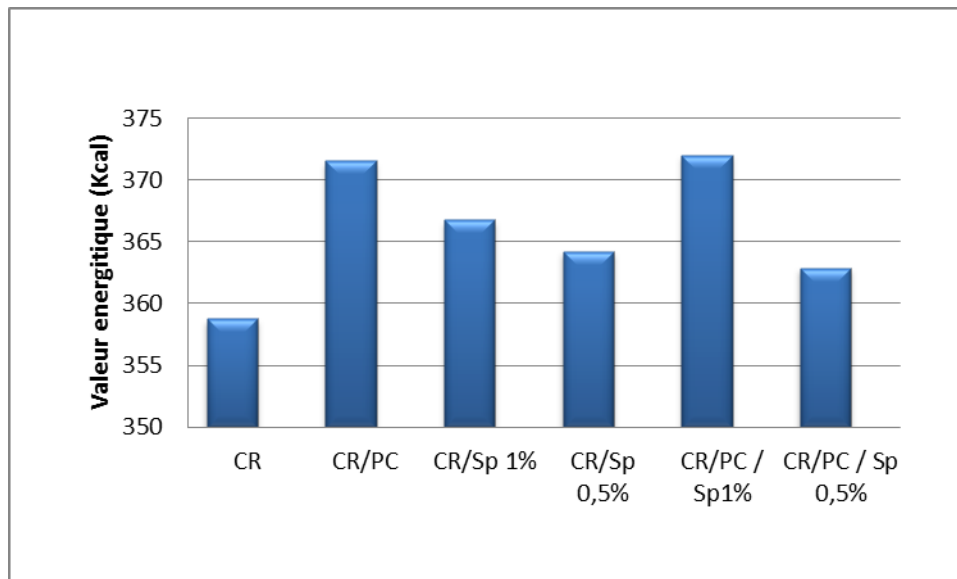
### 3-6-Qualité nutritionnelle du couscous

La détermination du taux de protéines, des lipides et des glucides permet de calculer la valeur énergétique pour chaque formule étudié suivant la formule :

$$\text{Valeur énergétique en Kcal} = 4 \text{ glucides} + 4 \text{ protéines} + 9 \text{ lipides}$$

**Tableau 12** : Détermination de la valeur énergétique de différentes formules de couscous

|   | CR    | CR/PC   | CR/Sp<br>1% | CR/Sp<br>0,5% | CR/PC /<br>Sp1% | CR/PC /<br>Sp 0,5% |
|---|-------|---------|-------------|---------------|-----------------|--------------------|
| <b>Glucide totaux<br/>assimilable (%MS)</b> | 80,87 | 74,85   | 80,75       | 80,29         | 70,16           | 70,07              |
| <b>Protéines<br/>(%MS)</b>                  | 7,25  | 12,53   | 9,05        | 8,97          | 13,96           | 13,2               |
| <b>Matière grasse<br/>(%MS)</b>             | 0,70  | 2,45    | 0,84        | 0,80          | 3,95            | 3,31               |
| <b>Valeur<br/>énergétique kcal</b>          | 358,7 | 371,57  | 366,76      | 364,24        | 372,03          | 362 ,87            |
|   | 1502, | 1555,68 | 1535,55     | 1525,00       | 1557,61         | 1519,26            |
| <b>KJ</b>                                   | 14    |         |             |               |                 |                    |



**Figure 32 :** Valeur énergétique des différentes formules de couscous

Le but de calcul de la valeur énergétique des couscous est de voir l'impacte de la supplémentarité de riz par le pois chiche et l'incorporation de la spiruline sur la valeur nutritionnelle.

Selon le Tableau12, la valeur énergétique de **CR** (358,78kcal) est légèrement supérieur à la valeur énergétique de la farine de riz (355kcal) cité par APFELBAUM, PERLEMUTTER et al (1981) .Alors qu' on note que la valeur énergétique s'augmente pour les autres formules en fonction de l'incorporation de pois chiche et de la spiruline vue que la richesse lipide et en protéine malgré la diminution de taux des glucide totaux assimilable pour ces derniers .(Tableu12)

La valeur énergétique la plus élevé (372,03 kcal) est obtenue Pour le **CR/PC / Sp1%** ainsi cette valeur est de même supérieur a la valeur (344 kcal) cité par DOUMANDJI et al (2011) calculée pour le couscous de semoule de blé dure incorporé de la spiruline sèche.

Cela indique que la suplimentarité a un effet positif sur la valeur énergétique des produits en question. En ce référant aux résultats discuté au paragraphe 2-1-4 (Figure 25) le couscous **CR/PC/ Sp1%** offre plus de nutriment sur le plan quantitatif et même qualitatif selon la composition nutritionnelle détaillé cité par la bibliographie.

Selon ROUDAUT et LEFRANCQ(2005),un riz complètement blanchi contient moins de protéines ,de vitamines et des minéraux et plus d'amidon donc possède ainsi une valeur nutritionnelle amoindrie. Alors la suplimentarité de notre couscous



de riz blanc par le pois chiche lui offre une complémentarité en lysine, en vitamine B et même en fibres.

En plus la spiruline a été souvent recommandée comme supplément alimentaire en cas de carences en acide aminé, en vitamine principalement le  $\beta$ -carotène, provitamine A en sels minéraux et même en acides gras essentiels.

FALQUET(1996), cite que la spiruline contient une teneur exceptionnelle en vitamine B12 (cobalamine) qui est de loin la vitamine la plus difficile à obtenir dans un régime sans viande, car aucun végétal courant n'en contient. La spiruline est 4 fois plus riche que le foie cru, longtemps donné comme meilleure source de vitamine B12

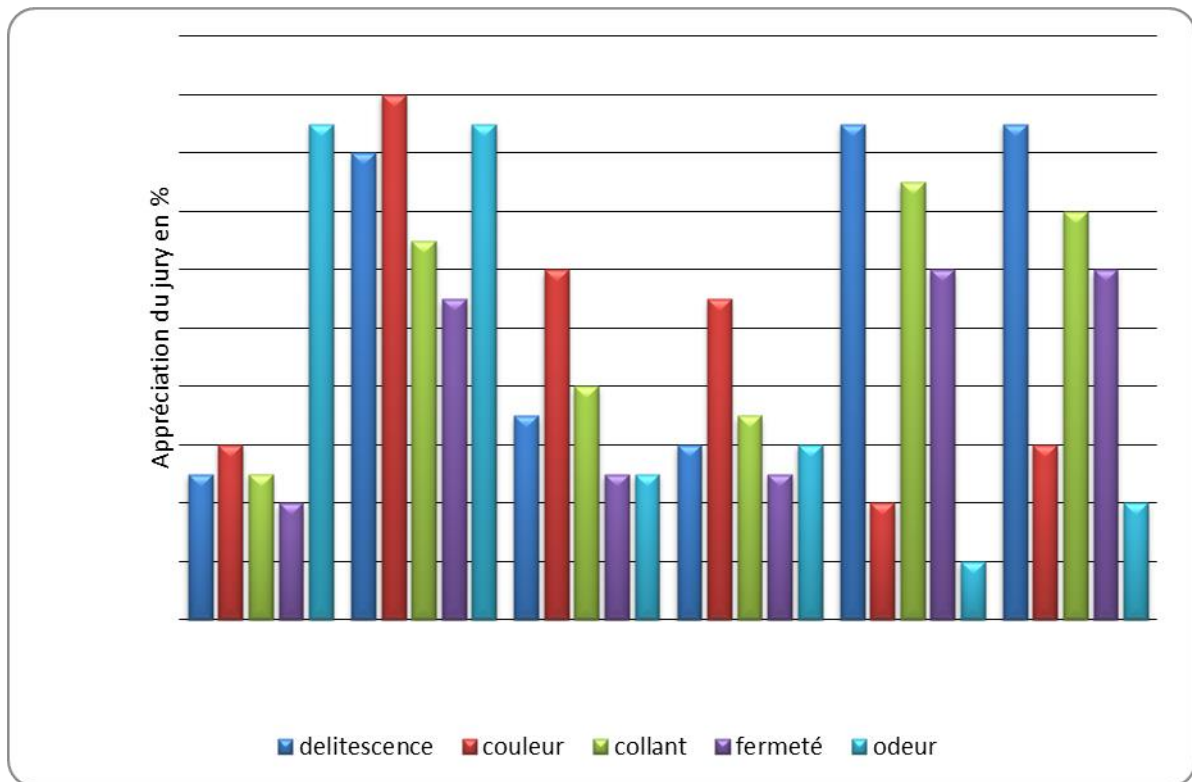
Selon CRUCHOT(2008), la supplémentation en spiruline (3 à 5 g par jour de façon continue) permet d'éviter les éventuelles carences liées aux régimes végétariens et végétaliens mal conduits .Riche en fer en zinc, des minéraux dont manquant souvent les végétariens, ainsi qu'en vitamines du groupe B (FRICKER et CYNOBER ,2010).

Il demeure par ailleurs indispensable d'effectuer une analyse nutritionnelle supplémentaire après la cuisson du couscous enrichi afin de mesurer le degré de destruction des composants nutritionnelle sous l'effet de la température.

La cuisson à la vapeur entraine une perte moins d'éléments nutritif et de saveur (FORTIN, 2008). Le couscous suit la même opération pour sa cuisson, une technique dans laquelle les aliments sont cuits non pas par la chaleur directe du feu, mais par celle de la vapeur produite par un liquide en ébullition.

### **3-7-Caractéristiques sensorielles des couscous cuits**

Les résultats de notation (sur une échelle de neuf points) des caractéristiques sensorielles des couscous fabriqués à l'état cuit concernant les cinq descripteurs suivant : la couleur, la délitescence, le collant, la fermeté dans la bouche et l'odeur sont présentés dans la Figure 33



**Figure 33** : Evaluation sensorielle des couscous cuits

Les évaluations sensorielles des couscous fabriqués ont permis de déterminer leur degré d'acceptabilité et la concentration de spiruline préférée par les jurys. (un exemplaire de fiches de dégustation figure en Annexe VI)

✓ **la délitescence** :

La délitescence correspond à l'aptitude des particules de couscous à conserver leur

Intégrité durant et après cuisson. D'après OUNANE *et al.* 2006, des couscous qui se délitént peu sont des produits de très bonne qualité ;

L'évaluation sensorielle du degré de la délitescence des échantillons du couscous nous permet de distinguer une nette différence entre les formules incorporées de pois chiche et les formules de riz, 85% de jury ont donné la meilleure note pour le **CR/PC**, le **CR /PC/Sp 1%** et **C R/PC/Sp 0,5%** se délité à un degré un peu plus, alors que pour les formules de riz malgré l'incorporation de la spiruline se délité beaucoup.

✓ **La couleur :**

Le couscous **CR/PC** est jugé de meilleur couleur, la couleur de ce couscous fait rappeler celle de couscous de semoule de blé. La couleur blanche de **CR** n'a été appréciée que par 30% de jury rappelons que parmi les membres de jury il y a avait des nigériens et maliens que le riz ça fait partie de leur tradition culinaire. Les couscous incorporés de pois chiche et de spiruline (**CR/PC/Sp 1%** et **CR/PC/Sp 0,5%**) n'ont pas été fortement appréciés par la majorité des jurys cause de mélange de couleur verte de spiruline et de la couleur beige de pois chiche ce qui a donné une couleur déplaisante par les jurys.

Le couscous **CR Sp 1%** et **CR Sp 0,5%** ont été appréciés par plus de 50% cela fait rappeler peut être les jurys par le couscous traditionnel incorporé de plantes médicinales « *EL HAMMAMA* »

✓ **Le collant :**

Le collant est un important critère de viscoélasticité. Il rend compte de l'agglutination des particules de couscous entre elles après hydratation (ABOUBACAR et HAMAKER, 2000 in MEZROUA, 2011).

D'après les résultats indiqués dans la Figure 32, nous remarquons que le collant est plus perçu par les dégustateurs pour le **CR** que le **CR/PC** ainsi que la spiruline améliore cet descripteur que ce soit pour les couscous sans ou avec pois chiche ; 65% de jury ont estimé que le **CR/PC** est pas collant, alors que seulement 25% de dégustateurs ont déclarés que le **CR** n'est pas collant. Ainsi que l'ajout de la spiruline aux formules au pois chiche diminue un peu le collant et 75% de jury ont déclaré que le **CR/PC/Sp 1%** et le **CR/PC/Sp 0,5%** sont peu collants.

✓ **La fermeté :**

Lorsque nous analysons les résultats d'évaluation sensorielle de la fermeté des couscous g, nous observons que les couscous **CR/PC/Sp 1%**, **CR/PC/Sp 0,5%** et le **CR/PC** sont jugés plus fermes que le **CR/PC Sp 1%** et **CR Sp 0,5%**, c'est-à-dire ces derniers sont plus tendres. Donc l'incorporation de pois chiche améliore la fermeté notée avec les formules à riz seul, alors que l'incorporation de la spiruline à doses étudiées affecte peu la fermeté de couscous.

✓ **L'odeur :**

85 % de jury ont apprécié l'odeur de **CR** et de **CR/PC** et ont prononcé la meilleure note pour ces derniers. Le jury ne montre pas de préférence **CRSp 1%** et **CRSp 0,5%** par rapport à leur odeur et sont moins appréciés. Les **CR/PC/Sp 1%**, et **CR /CP/ Sp 0,5%** sont les couscous les plus refusés par la majorité de dégustateurs, ces jurys n'ont pas apprécié l'odeur résultante de mélange spiruline et pois chiche.

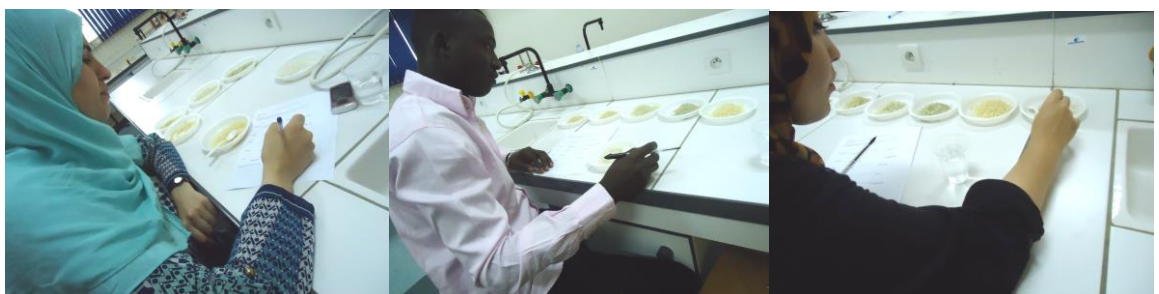
En conclusion :

- Le **CR/PC** est le plus apprécié point de vue couleur et odeur, le moins délité, le moins collant et le plus ferme.
- Les **CR/PC/Sp 1%**, et **CR /CP/ Sp 0,5%** sont les moins appréciés point de vue couleur et odeur, mais sont plus fermes et présentent une bonne désintégration des particules et ne collent pas.
- Les **CR**, **CR Sp 1%** et **CRSp 0,5%**, sont plus ou moins appréciés point de vue couleur moyennement pour l'odeur pour **CR Sp 1%** et **CRSp 0,5%**, plus tendres plus collants et se délitent.



**Figure 34 :** Différents types de couscous cuits (photo originale)

**A:CR,B :CR/PC ,C:CR Sp 1%,D :CRSp 0,5%,E :CR/PC/Sp 1%,F :CR /CP/ Sp 0,5%**



**Figure 35 :** Epreuve de l'analyse sensorielle (photo originale)

# Conclusion

L'objectif principal de ce travail porte sur un essai de fabrication d'un couscous anti sprue destiné aux malade cœliaque à partir d'une formulation à base de riz (2/3) et de pois chiche (1/3) en substitution à la semoule de blé dur et afin d'enrichir en plus le couscous et dans la perspective d'incorporation de la spiruline on a jugé utile d'introduire la spiruline à la formulation. Six formules ont été étudiées : riz , riz - pois chiche riz – spiruline (1 et 0,5%) ,riz- pois chiche-spiruline(1et 0,5%). L'appréciation de ces derniers se manifeste dans leur propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques.

Le suivi des étapes de fabrication des couscous sans gluten fabriqué selon un diagramme traditionnel a permis de comparer l'aptitude des différentes matières premières mises en œuvre à donner un couscous.

Les principaux résultats montrent que pour la même quantité de semoule grosse moyenne [550-950 $\mu$ m ] mise en œuvre, les couscous (**CR /CR/ Sp 1%et CR/Sp 0,5%**) ont demandé des quantités d'eau légèrement supérieur mais un rendement inférieur par rapport aux les formules incorporé de pois chiche (**CR/CP, CR/PC / Sp1%,CR/PC/Sp0,5%**) .

L'étude des caractéristiques technologiques des couscous obtenus à l'état sec montre que les qualités des couscous sans gluten sont comparables à ceux du couscous de blé cité par la bibliographie.

- ✓ Les résultats de granulométrie montre que nos formule présente d'une manière générale une granulométrie homogène et l'addition de la spiruline et de semoule de pois chiche n'affecte pas vraiment la taille des particules du couscous fini ,un taux de particules supérieur à **1450  $\mu$ m** plus faible à été constaté avec formules incorporé de semoule de pois chiche et de la spiruline par rapport au couscous de riz s'explique par la diminution de formation de gros agglomérés lors de roulage.
- ✓ Les résultats de la masse volumique se concordent avec ceux de granulométrique.

Sur le plan nutritionnel et selon les résultats de la composition biochimique et le calcul de la valeur énergétique, l'incorporation de spiruline et pois chiche à fait preuve de l'enrichissement de la valeur nutritionnelle sur le plan qualitatif et quantitatif ; c'est la formule **CR/PC /Sp1%** qui est jugé le produit le plus riche. Ainsi on note une amélioration de la qualité nutritionnelle de couscous de riz avec l'enrichissement en spiruline malgré la faible dose utilisée.

L'appréciation de la qualité culinaire de différents couscous fabriqués montrent que :

- ✓ le **CR** présente le taux de gonflement et une capacité d'absorption le plus élevé comparable aux formules incorporés au pois chiche et de spiruline.
- ✓ Le **CR** présente un degré de délitescence élevé et l'incorporation de spiruline n'améliore pas ce paramètre par contre la supplémentation de riz par le pois chiche entraîne une diminution considérable de degré de délitescence.
- ✓ L'évaluation de temps de cuisson nous a permis d'enregistré la valeur la plus faible de l'IPMT à 16 mn pour les différentes formules étudiées. Ainsi les l'incorporation de pois chiche diminue nettement ce paramètre contrairement à la spiruline qui améliore très peu l'IPMT pour la dose utilisé (1%et0,5%).

Les résultats de test de dégustation reflète les goûts d'une minorité de personnes connaisseurs en la matière, a permis de conclure que :

- ✓ Le **CR/PC** est le plus apprécié pour tout les descripteurs évalués.
- ✓ Les **CR/PC/Sp 1%** , et **CR /CP/ Sp 0,5%** sont les moins appréciés points de vue couleur et odeur , mais ont une bonne désintégration des particules et colle pas .
- ✓ Les **CR** , **CRSp 1%** et **CRSp 0,5%**, sont plus au moins appréciés point de vue couleur moyennement pour l'odeur pour **CRSp 1%** et **CRSp 0,5%**, plus tendre plus collants et se délites.

Au vue des résultats obtenus, on peut conclure que l'introduction et l'association de la Spiruline et de pois chiche dans le couscous à base de riz pour malades cœliaque a été une pratique satisfaisante et encourageante.

Il serait donc souhaitable de poursuivre les recherches dans ce domaine et réaliser entre autres les perspectives :

- L'industrialisation du couscous de riz enrichi à la Spiruline et ou pois chiche tout en validant sa qualité nutritionnelle et technologique complétée par des essais et des analyses plus précises (analyse des acides aminées, dosage de vitamine, analyses nutritionnelles après cuissons .....).
- Etudier l'effet de précuisson de matière première (semoule) sur la qualité technologique et culinaire de couscous de riz.
- Appréciation de la microstructure du couscous par une imagerie des granules de couscous au cours de différentes étapes de roulage afin de comparer la forme et l'aspect de surface des particules de couscous.
- Augmenter la dose de spiruline et étudiée l'éventuelle variation sur le plan de la qualité sensorielle et culinaire.
- Etude de l'effet d'adjonction de la matière grasse durant la cuisson couscous anti sprue a base de riz .
- Formulation de couscous de riz avec autre légumineuse (fève, pois) et étudier l'effet de la complémentarité sur la qualité technologique nutritionnelle, culinaire et sensorielle.

## Références bibliographiques

1. **AEPLI Patrick, CRIBLEZ Dominique 2011** : Sprue / maladie coeliaque – une maladie aux multiples visages ;extrait deForum Med Suisse;11(49):907–912 907Abteilung Gastroenterologie/Hepatologie, DepartementMedizinLuzernerKantonsspital, Luzern
2. **AFAA,1982** : Association française pour l'algologie appliquée. *Actes du premier symposium sur la spiruline SpirulinaPlatensis (Gom)*. Geitler de l'AFAA. 1982
3. **AFNOR, 1991** : NF V 03-720 de décembre 1981 ; AFNOR ,1991) :.Recueil de normes- contrôle de la qualité des produits alimentaires céréales et produits céréaliers. AFNOR/DGCCRF. 3ème édition. Paris. 360 p.
4. **ALARY R., LAIGNELET B, 1998** : Traitement du riz *In* GODON B., WILLM C. Les industries de première transformation des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris. 653 p.
5. **ANGAR O. et BELHOUCHE L., 2002** :Granulométrie du couscous : relation avec quelques paramètres de fabrication et la qualité culinaire. Mémoire d'ingénieur. DNATAA, Université Mentouri Constantine. 53 pages. In MEZROUA Lyamine
6. **Anonyme, 2004** :.Antenna Technologies. Malnutrition. Spiruline : quelques bases scientifiques [en ligne]. c2004-2007 .Disponible sur : <http://www.antenna.ch/documents/biologie.pdf>
7. **Anonyme,2006**:Alpha-Biotech. La Phycocyanine ? [en ligne].. Disponible sur ; <http://www.spirulinet.com/index.php?page=phyco>
8. **Anonyme, 2007** :Laboratoire NATESIS Les phytonutriments majeurs de la Spiruline [en ligne]. Disponible sur :[http://www.natesis.com/boutique/page\\_actus\\_page.cfm?num\\_actus=3&code\\_lg=lg.fr](http://www.natesis.com/boutique/page_actus_page.cfm?num_actus=3&code_lg=lg.fr)
9. **Anonyme, 2008** : Feuillet d'information du 15 mars 2008: La *maladie coeliaque*
10. **Anonyme, 2009** : Santé Canada .La maladie coeliaqueLe lien au gluten 8p



11. **Anonyme, 2002** : Manuel suisse des denrées alimentaires Chapitre 14 cereales, produits de l'industrie meuniere, premelanges pour four, melanges de farine, Farines instantanees
12. **Anonyme, 2013** : Alimentation et maladie coeliaque : *feuille\_d\_info\_alimentation\_et\_maladie\_cliaque\_Fevrier 2013 document 10 page consulté le 23/08/2013 www.sge-ssn.ch*
13. **ANUSUYA D.M. et VENKATARAMAN L.V., 1983**: « Supplementary value of the proteins of the blue-green algae *Spirulina platensis* to rice and wheat proteins. » Nutr. Rep. Internat., N°28. P1029-1035 Petitperrin Sophie 2013"Biochimiste spécialisée en Spiruline".RAPPORTS SPIRULINA <http://www.algosopnette.com/page12.htm>
14. **APFELBAUM M. & L.PERLEMUTTER & al ,1981** : Dictionnaire pratique de diététique et de nutrition, éd. Masson 1981-726 page
15. **AUDIGIE C., FIGARELLA J., ZONSZAIN F, 1984** :Manipulation d'analyses biochimiques. Doin. 1ère édition. Paris. 274p.
16. **BABADZHANOV A.S., ABDUSAMATOVA N., YUSUPOVA F.M., FAIZULLAEVA N., MEZHLYMYAN L.G. et MALIKOVAM.Kh,2004**: *Chemical composition of Spirulina platensis cultivated in Uzbekistan*. Chemistry of Natural Compounds. 2004; 40 (3): p. 276-279.
17. **BAHCHACHI N. 2002** :. Incorporation du gluten de maïs dans la fabrication de deux produits céréaliers traditionnels : trida et couscous. Thèse de Magister. INATAA. Université de Constantine. 134 p.
18. **BAUDAT Nicole ,2008**:Petit précis de nutrition ,Edition Wolters Kluwer France, 2008 - 312 pages
19. **BEJI-BECHEUR A., 2008** : Couscous connexion: l'histoire d'un plat migrant. Session 2.P : 1-17.
20. **BELAY AMHA,2008**:*Spirulina (arthrospira) in human nutrition and health colloque international sur la spiruline - toliara sud - ouest de madagascar – avril 2008* earthrisenutritionals - 113 easthoover rd. calipatria, ca 92233. usa
21. **BENATALLAH - BENCHIKH EL FEGGOUN Leila, 2009** : Couscous et pain sans gluten pour malades coeliaques : aptitude technologique de formules à base de riz et de légumes sec  
Thèse doctorat en sciences alimentaires I.N.A.T.A-A 164 page

22. **BENATALLAH Le., ZIDOUNE M. N., OULAMARA H., AGLI A 2006:**Formulation et fabrication de couscous à base de riz et de légumes secs pour malades coéliqués. Séminaire d'Animation Régional 2006 ' *Technologies douces et procédés de séparation au service de la qualité et de l'innocuité des aliments* ' INSAT – Tunis, Tunisie / 27 – 28 – 29 novembre 2006
23. **BIENVENIDO O. JULIANO,1994:**Le riz dans la nutrition humaine..Préparé en collaboration avec la FAO ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE Rome, 1994 180 p.
24. **BIORIGIN, 2006 :** Documentation Biorigin pour "Azina" et "Ferrina", spiruline enrichie en zinc ou en fer <http://www.biospirulina.ch/>
25. **BERRAH M., BENHASSINE F., CHAOUI N. 2000 :** Actualités sur la maladie coéliquée de l'enfant. Société algérienne de pédiatrie. Table ronde, 9 nov. Alger, 45 p
26. **BOUCHEHAM Nouhed, 2009 :**Aptitude technologique de trois formules à base de riz pour la fabrication de couscous sans gluten . Thèse de magister. Université MentouriConstantine, Algérie. INATAA 76 pages.
27. **BOUDREAU Armand, GERMAINMénar ,1992:**Le Blé:éléments fondamentaux et transformation. Presses Université Laval, 1992 - 439 pages
28. **BOURFE-RIVIERE VERONIQUE , 2008 :**Je cuisine bio... Edition Adverbial
29. **BOYELDIEU J, 1991 :** Produire des grains oléagineux et protéagineux. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 232page.
30. **BRINK, Martin et BELAY GetachewMelese ,2006:**Céréales et légumes secsPROTA, 2006 - 327 pages
31. **BUJARD-E, U. BRACO-U, MAURON-J, MOTTU-F, NABHOLZ-A, WUHRMANN-JJ &CLÉMENT-G, 1970 :** Composition and Nutritive Value of Blue Green Algae (Spirulina) and their Possible Use in Food Formulations 3<sup>rd</sup>.international Congress of Food Science and Technology, Washington
32. **BULEON A., COLONNA P. et LELOUP V., 1990 :**Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. Actualité des industries agro-alimentaires. Vol. 107. P : 515-532.
33. **CAMPANELLA L., CRESCENTINI G. et AVINO P,1999:** Chemical composition and nutritional evaluation of some natural and commercial food products based on SpirulinaAnalusis, 1999, 27, 533-540

34. **CARERI M, FURLATTINI L, MANGIA A, MUSCI M, ANKLAM E, THEOBALD A, VON HOLST C. 2001** :Supercritical fluid extraction for liquid chromatographic determination of carotenoids in *Spirulina Pacifica* algae: a chemometric approach. *J Chromatography A*; 912: 61–71
35. **CASTENHOLZ RW, Rippka R, HERDMAN M, WILMOTTE A 2001**:Form-genus *I. Arthrospira* Stizenberger 1852. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (D. R. Boone & R.W.Castenholz, eds.) : 542-543 p
36. **CERF-BENSUSSAN Nadine , JABRI Bana, 2001** :La maladie coeliaque : une maladie auto-immune induite par un antigène alimentaire 10p.
37. **CHAKER S., 1995** : Linguistique berbère. Etudes de syntaxe et de diachronie, Editions Paris/Louvain, Peeters- 273 pages
38. **CHALLEM-JJ, PASSWATER-RA, MINDELL-EM, 1981**:*Spirulina*. Keats Publishing, Inc. New Canaan, Connecticut.
39. **CHAMP M. FAISANT N, 1992** :.Technologies et qualités nutritionnelles des amidons. *Les Cahiers de l'ENS.BANA*, 8 : 1-23p.
40. **CHARPY L., LANGLADE M.J. et VICENTE N., 2004** : " *Les Cyanobactéries pour la Santé, la Science et le Développement*". Colloque international. 3-6 mai 2004. p. 1-6.
41. **CHARPY Loïc, Marie José LANGLADE et Romain ALLIOD ,2008** : La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? »Institut de Recherche pour le DéveloppementUR 167 (CYROCO)COM, rue de la Batterie des Lions 13007 Marseille 67page
42. **CHEFTEL J. C. CHEFTEL H, 1984**: Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Vol. 1. Lavoisier Tec et Doc. Paris. 381 p.
43. **CHEN T, ZHENG W, Wong YS, YANG F, BAI Y,2006** : Accumulation of selenium in mixotrophic culture of *Spirulina platensis* on glucose. *Bioresour. Technol.*2006 ; 97 (18) : 2260-5.
44. **CHOUAKI S ,2006** : Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques. INRA. 92p.
45. **CLAUDON Dominique, 2010** :Resagro le magasin de décideur de l'agro alimentaire et de l'hôtellerie- restauration des métier de bouche N° 13 juin 2010 ;68 page [Www.resagro.com](http://Www.resagro.com)
46. **CLEMENT G. 1975** : Production et constituants caractéristiques des algues *Spirulina platensis* et maxima *Ann. Nutr. Aliment.* 29, 477-487p.

47. **COLLA LM, BERTOLIN TE, COSTA JA. 2004** :Fatty acids profile of *Spirulina platensis* grown under different temperatures and nitrogen concentrations. *Z Naturforsch [C]*. 59(1-2):55-9.
48. **Codex alimentarius. Norme codex 202-1995.** Norme codex pour le couscous. P : 1-3.
49. **CODEX STANDARD 198-1995** : Norme codex pour le riz 7page
50. **CRUCHOTHélène ,2008** : la spiruline bilan et perspectives ,These docteur en pharmacie universite de franche-comtefacute de medecine et de pharmacie de besancon ,353 page
51. **CRUZ J. F., ALIOU Diop,1989** :Genie agricole et developpement: techniques d'entreposage Food & Agriculture Org., 1989 - 126 pages cyanobacterium *Arthrospira*. *Journal of Phycology*39: 360-367
52. **DAHOUN-Lefkir S., 2005.** Influence des conditions de l'hydratation sur la qualité technologique du couscous. Mémoire Magister. INA, El-Harrach, Alger. 100 pages.
53. **DAIRYJ Sci., 2002** : Influence of a *spirulina platensis* biomass on the microflora of fermented ABT milks during storage , May;85(5):1031-8
54. **DANSOU DelaliKokou,2002** :developpement de la culture de la spiruline (*spirulina platensis*) et valorisation de celle-ci auburkinafaso : mémoire de fin d'études supérieures spécialisées (d.e.s.s.) université de ouagadougou2002-74 Page
55. **DEBBOUZ A. et DONNELLY B.J., 1996** : Process effect on couscous quality. *Engineering and processing. Cereal chem.* Vol. 73. P : 668-671.
56. **DEBBOUZ A., DICK, J.W., et DONNELLY, B.J., 1994:** Influence of raw material on couscous quality. *Cereal Foods World.* Vol. 39. P : 231-236.
57. **DEGBEY H., BOUREIMA H. et OUMAROU H, 2004** : Evaluation de l'efficacité de la supplémentation en spiruline du régime habituel des enfants atteints de malnutrition sévère Colloque international « Les Cyanobactéries pour la Santé, la Science et le Développement » Îledes Embiez 3-6 mai 2004
58. **DEROUICHE. M, 2003** : Couscous – Enquête de consommation dans l'est algérien, fabrication traditionnelle et qualité. Thèse de Magister. INATAA. Université de constantine.125 p.

59. **DICK J. W. et MATSUO R.R., 1988** :Durum wheat and pasta products, pp: 507-547. In « Wheat Chemistry and Technology ». Ed. AACC. St. Paul Minnesota. USA.
60. **DIEDHIOU Lamine, 2004** : Riz, symboles et développement chez les Diolas de Basse-Casamance Presses Université Laval, 2004 - 339 pages
61. **DOUMANDJI A. , BOUTEKRABT L. , SAIDI N., DOUMANDJI S. HAMEROUCH Djazia et HAOUARI S. 2011**:Etude de l'impact de l'incorporation de la spiruline sur les propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du couscous artisanal ,publication. *Revue « Nature & Technologie »*. n° 06/Janvier 2012. Pages 40 à 5010 page
62. **DOUMENGE F, DURAND-CHASTEL H, TOULEMONT A, 1993** : Spiruline, algue de vie/ Spirulina, algae of life. Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco ; numéro spécial 12. Monaco : Musée Océanographique ; 1993
63. **EARTHRISE, 1986**: Product Typical Analysis Earthrise Farms Spirulina, San Rafael, USA.
64. **ELYAH Ariel , 2003** : Quel avenir pour la spiruline ? memoire bibliographique desta promotion 2001 – 2003 .30 Page
65. **FALQUET J. et HURNI J.-P., 2006** : Spiruline : aspects nutritionnels [www.antenna.ch/documents/AspNutr2006.pdf](http://www.antenna.ch/documents/AspNutr2006.pdf)Antenna Technologies. Novembre 2006. Page
66. **FALQUET J.,1996**:Spiruline :aspects nutritionnels. [en ligne]. Genève : Antenna Technologies ; 1996 Disponible sur : <http://www.technap-spiruline.org/datas/Aspects%20nutritionnels1.doc>
67. **FAO,1990** : Utilisation des aliments tropicaux : Céréales. FAO. Alimentation et Nutrition. 47/1. Rome. 120p.
68. **FAO, 1990** :.Utilisation des aliments tropicaux : Légumineuses tropicales. FAO. Alimentation et Nutrition. 47/4. Rome.76p.
69. **FAO, 1990** : Utilisation des aliments tropicaux: graines oléagineuses tropicales Food & Agriculture Org., 1990 - 92 pages.
70. **FARRAR W.V., 1966**: « Techuitlatl, A Glimpse of Aztec Food Technology » Nature N° 5047, 23 juillet
71. **FEILLET P, 2000** :Le grains de blé, composition et utilisation. INRA. Paris. 308p.

72. **Flamant Vert. Spiruline** : L'Algue Bleue des Andes [en ligne].c 2008  
[[http://www.flamantvert.fr/gamme\\_produits\\_spiruline\\_flamant\\_vert.php](http://www.flamantvert.fr/gamme_produits_spiruline_flamant_vert.php).
73. **FORTIN Caroline, 2008**:La Mini Encyclopédie des Aliments Par QA International Collectif,QuébecAmérique, 609 Page
74. **FORTIN Jacques, 1996** : L'Encyclopédie visuelle des aliments :International Collectif Québec Amérique, 1996 , 686 Page
75. **FOX R.D., 1999** : La spiruline : technique, pratique et promesse Edisud. 246P. ISBN 2-7449-0100-8
76. **FRANCONIE Helene,CHASTANMonique, SIGAUTFrançois,2010** :Couscous, boulgour et polenta: Transformer et consommer les céréales dans le monde KARTHALA Editions, 2010 - 477 pages
77. **FRENOT Marlene , VIERLINGÉlisabeth ,2001** :Biochimie des aliments:diététique du sujet bien portantWolters Kluwer France, - 297 pages
78. **FRICKERL. et CYNOBER J . ,2010** :La Vérité sur les compléments alimentaires –Edition ODILE JACOB Paris , 229Page
79. **GALIBA M., ROONEY L. W., WANISKA R. D., MILLER F. R. 1987**:. The preparation of sorghum and millet couscous in West africa. Cerealfoods world. 30(12): 878-884.
80. **GEITLER L ,1932** : CYANOPHYCEAE. In :Rabenhorst'sKryptogamenflora von Deutschland,Osterreich und der Schweiz. Kolkwits R. (Eds.) Leipzig Germany :Akademische, Verlagsgesellschaft. 14
81. **GENE A. SPILLER,MONICA SPILLER , 2007** :Tout Savoir Sur Les FibresLes Éditions le mieux-être , 1 janv. 2007 - 307 pages
82. **GEUBELLE Fernand,2006**:Protégé pour mieux grandir :Prévention chez le jeune enfant Editions de l'ULG, 2006 - 256 pages
83. **GIRARDIN-ANDREANI C ,2005** :*Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer*. Phytotherapie. 2005;4: p. 158-161.
84. **GODON B . et LOISEL W ,1997** : Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales Lavoisier Tec et Doc. Paris. 813 Page
85. **GODON B.et WILLM C.,1998** : Les industries de premiere transformation des céréales Tec et Doc/Apria. Paris. 653 p.
86. **GONNET JULIEN,2005** : La spiruline, une cyanobactérie comme instrument de développement- durable pour réduire l'insécurité alimentaire et

soutenir une activité traditionnelle féminine. TCHAD . Mémoire d'études supérieures spécialisées en écologie humaine -Université de GENEVE .103page

87. **GUENGUEN J. et LEMARIE J. 1996** :Composition, structure, et propriétés physicochimiques de légumineuses et d'oléagineux. *In*,**GODON B.** Les protéines végétales. Lavoisier Tec et Doc. Paris. 666p.
88. **GUEZLANE L et ABECASSIS J., 1991** : . Méthode d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur .Ind .Aliment .Agric., 11 .pp 966-971.
89. **GUEZLANE L., 1993** : Mise au point de méthodes de caractérisation et étude des modifications physico-chimiques sous l'effet des traitements hydrothermiques en vue d'optimiser la qualité du couscous de blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat. INA, El Harrach, Algérie. 89 pages.
90. **HAÏDARA N., 2005** :*La gastronomie à la tombouctienne*, Préface B. Salvaing, Introduction M. Chastanet, Saint-Jean d'Angély, Impressions J.-M. Bordessoules
91. **HARRIMAN G.R., SMITH P.D., HORNE M.K., FOX C.H., KOENIG S., LACK E.E., LANE H.C. 1989** Spirulinaplatensis et ses constituants : interets nutritionnels et activitestherapeutiques - 152 page
92. **HAYASHI H., HAVASHI T., MORITA N. AND KOJIMA I, 1993** : An extract from Spirulinaplatensis is a selective inhibitor of herpes simplex virus Type 1 penetration into HeLa cells. *Phytotherapy Research* I, 76-80.
- 93.**HENRI DUPIN, 1992** : Alimentation et nutrition humainesEsf Editeur, - 1533 pages
94. **HENRIKSON R,2000** :Fluorescent markers for medical tests. [en ligne]. Laguna Beach, Californie : RonoreEnterprises, Inc.ISBN 0-9623111-0-3, 180 pages. c2000.. Disponible sur :<http://www.spirulinasource.com/earthfoodch5c.html>
95. **HERVE GROSGOGEAT, 2009** : ma promesse anti-âge Odile Jacob, 2009 - 446 pages
96. **HOUDE Kristina,2008** : Institut de santé naturelle Fleury-Rodet, 2008. *Cahier de nutrithérapie* : Les oléo-protéagineux, 102 p. [www.lanutrition.fr](http://www.lanutrition.fr)
- 97.**IBBO DADDYAbdoulaye 1997** :Le couscous aux feuilles séduit les Nigériens . disponible sur : <http://www.syfia.info/index.php5?view=articles&action=voir&idArticle=388>

- 98. JACQUES FORTIN, 1996** : L'Encyclopédie visuelle des aliments :QA  
International Collectif Québec Amérique, 1996 , 686 Page
- 99. JARRIGE R . *etal*, 1995** : Nutrition des ruminants domestique : ingestion et digestion ;1995 Edition Quae-921page
- 100. JEAN-PIERRE OLIVES, 2013** : La maladie coeliaque,13p
- 101. JEANTET Romain, CROGUENEC Thomas, SCHUCK Pierre, BRULÉ Gérard,2006**: Science des aliments Biochimie .Microbiologie .Procédé.  
Produits Tome2 :Technologie des produits alimentaires ; 2006;454 page  
Edition TEC&DOC Lavoisier
- 102. JULIANO, B.O, 1972**:The rice caryopsis and its composition. In D.F. Houston, ed. Rice chemistry and technology, p. 1674. St Paul, MN, USA, Am. Assoc. Cereal Chem.
- 103. JULIANO, B.O. & Bechtel, D.B,1985** : The rice grain and its gross composition. In B.O. Juliano, ed. Rice chemistry and technology, 2nd ea., p. 17-57. St Paul, MN, USA, Am. Assoc. CerealChem.
- 104. KAPOOR R ET MEHTA U, 1993** :Utilization of beta-carotene from *Spirulina platensis* by rats, *Plant-Foods-Hum-Nutr.* 43(1): 1-7
- 105. KERFAL Amal, 2012** : profil epidemiologique et prise en charge de la maladie coeliaque de l'adulte a l'hospital mohamed v de meknes (Apropos de 93 cas).these pour l'obtention du doctorat en medecine universite sidi mohammed ben abdellah faculte de medecine et de pharmacie fes 148p.
- 106. KHENDEK L., GUEZLANE L, 1994** : Rôle des monoglycerides dans l'expression de la qualité technologique du couscous industriel de blé dur. *Céréaliculture* 32 : 10-14.
- 107. LAIGNELET, 1997** : Appréciation de la qualité technologique du riz. In GODON B., LOISEL W. Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris. 728-743 p.
- 108. LAIGNELET, 1998**: in GODON B. et WILLM C.,1998. Les industries de première transformation des céréales Edition : Lavoisier TEC&DOC 653 page
- 109. LAFAYO Olivier**: Méthode de nutrition: Gérer l'équilibre ,Editions Amphora, 15 nov. 2010 - 336 pages
- 110. LAUREYS et GEEROMS, 2002**: New insights in the unique characteristics of rice derivatives. Remy Industries N. V. Wijkmaal. 21p.



- 111. LE GOFF L. 1997** : Connaître ce que l'on mange. *In* : Encyclopédie de l'alimentation biologique et de l'équilibre nutritionnel. ROGER JOLLIOS, Paris, 675 p
- 112. LEE J.-B., HAYASHI T., HAYASHI K., SANKAWA U. 2000** : Structural Analysis of Calcium Spirulan (Ca-SP)-Derived Oligosaccharides Using Electrospray Ionization Mass Spectrometry
- 113. LEITZMANN C. 1993** : Vitamin B12 aktueller Stand der Forschung FIT fürs LEBEN 6, 12-15
- 114. LI ZY, GUO SY, LIN L, 2003** : Bioeffects of selenite on the growth of *Spirulina platensis* and its biotransformation. *Bioresour. Technol.* 2003 ; 89 (2) : 171-76.
- 115. LUXEREAU A., 2002** : Variations autour des mils au Niger, *in* Chastanet M., Fauvelle-Aymar F.-X. et Juhé-Beaulaton D. (éd.), *Cuisine et société en Afrique. Histoire, saveurs, savoir-faire*, Paris, Karthala : 217-232
- 116. MAOUGAL RYM TINHINEN, 2004** : Techniques de production d'inoculum Rhizobial. Etude de cas pois chiche (*Cicer arietinum. L*) : Inoculation et nodulation, Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en biotechnologies végétales, Université Mentouri, Constantine ,163p.
- 117. MEZROUA Lyamine, 2011** : Etude de la qualité culinaire de quelques couscous Industriels et artisanaux et effet d'adjonction de la matière grasse durant la cuisson. Thèse de magister. Université Mentouri Constantine, Algérie. 107pages.
- 118. MOHTADJI-LAMBALLAIS, 1989** : Les aliments. Editions Maloine. Paris.203p.
- 119. MUHLING M, HARRIS N, BELAY A, WHITTON BA 2003** : Reversal of helix orientation in the cyanobacterium *Arthrospira*. *Journal of Phycology* 39: 360-367
- 120. N'DIR B., GNING R.D, 1989** : Étude de deux procédés de fermentation traditionnelle de couscous de mil (*Pennisetum typhoides*). Céréales en région chaudes. AUPELF-UREF. Eds John Libbey Eurotext. Paris. 265-272.
- 121. NAKAYA N, HOMA Y, GOTO Y. Cholesterol lowering, 1988**: effect of *Spirulina*. *Nutr Rep Int.* 1988 ; 37 : 1329-1337.
- 122. NAMOUNE H., KEZIH R., FELIACHIK., GUERFI N. et HAMZA N., 2004** :

أثر استعمال يبيض الدهون خلال عملية الطهي على نوعية الكسكس

- 123. NFV-03-à 603** : Recueil de normes :Amidon-fecule dosage de l'amidon –  
Méthode polarimétrique de Ewers
- 124. GEITLER L ,1932** :Cyanophyceae. In :Rabenhorst'sKryptogamenflora von  
Deutschland, Osterreich und der Schweiz. Kolkwits R. (Eds.) Leipzig Germany  
:AkademischeVerlagsgesellschaft. 14
- 125. OTTEN J, PITZHELLWIG J, D. MEYERS L,1999**: Les apports nutritionnels  
de référence: le guide essentiel des besoins en nutriments[en ligne].  
Disponible sur :[http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/reference/cons\\_info-  
guide\\_cons\\_fr.html](http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/reference/cons_info_guide_cons_fr.html)
- 126. OUNANE G., Cuq B., ABECASSIS J., YESLI A. et OUNANE S.M.,  
2006** :Effects of physicochemical characteristics and lipid distribution in  
algerian durum wheat semolinas on the technological quality of couscous.  
Cereal chem. Vol. 83. P: 377–384.
- 127. PANG QS; GUO BJ; RUAN JH, 1988**: Enhancement of endonuclease  
activity and repair DNA synthesis by polysaccharide of Spirulina platensis I  
ChuanHsuehPao. 1988; 15(5): 374-81
- 128. PEREZ R., 1997** : Ces algues qui nous entourent : conception actuelle, rôle  
dans la biosphère, utilisations, culture.Editions IFREMER. P16-23
- 129. PIERLOVISI Carole2008** : COMPOSITION CHIMIQUE DE LA SPIRULINE  
colloque international « spiruline et développement » 28, 29 et 30 avril 2008  
Toliara sud-ouest de madagascar
- 130. PLANCQUAERT PH., WERY J, 1991** : Le pois chiche : culture, utilisation,  
publications sur les protéagineux. Edition 1991. ITCF. Paris. 12p.
- 131. PLUVINAGE J, 1990**: Chickpea in the Mediterranean production systems :  
two contrasting examples of possible developpments in Algeria aud France.  
Options méditerranéennes. Série séminaires. 9 : 133- 136.
- 132. QISHEN P., KOLMAN et al, 1989**:Radioprotective effect of extract from  
spirulina in mouse bone marrow cells studied by using the micronucleus test  
Toxicology Letters 48: 165-169
- 133. RAUX J, 1990** : Les industries de transformation du ris et de sous produits  
au Japon. IAA avril : 259-264.

- 134. RAZANAKOLONA Georges & RASOAMIARAMANANA Caroline, 2008 :**  
 utilisation de la spiruline en milieu chirurgical *colloque international sur la spiruline - toliara sud - ouest de madagascar – avril 2008* service de chirurgie du chrrtoliara - centre hospitalier de référence régional (chrr) sud ouestmadagascar
- 135. RECHTER S, KONIG T, AUEROCHS S, THULKE S, WALTER H, DORNENBURG H, WALTER C, MARSCHALL M ,2006 :** Antiviral activity of Arthrospira-derived spirulan-like substances *Antiviral Res.* vol. 72, n°3 (2006) p. 197-206.
- 136. ROSS E., DOMINY W, 2005:** *The nutritional value of dehydrated, blue-green algae (Spirulina platensis) for poultry . Poultry Science.* May 1990; 69 (5): p. 794-800.
- 137. ROUDAUTHelene, LEFRANCQ Evelyne ,2005 :**Alimentation théorique Wolters Kluwer France, 2005 - 303 pages
- 138. SALL MG, DANKOKO B., BADIANE M. EHUA E. et KUAKUWI N, 1999 :**La spiruline : une source alimentaire a promouvoir médecine d'Afrique Noire : 1999, 46 (3)
- 139. SCHWARTZ J, SHKLARG,1987:** Regression of experimental hamster cancer by beta carotene and algae extracts. *J Oral Maxillofac Surg.* 1987 ; 45 : 510-15.
- 140. SCOTTI G, 1984 :** Analyse physique des grains. *In GODON B. et LOISEL W.* Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris. 685 p.
- 141. SEIGNALET Jean 2004 :** l'alimentation ou la troisième médecine 5ème édition refondue et augmentée, Office d'Édition Impression Librairie (O.E.I.L.) François-Xavier de Guibert, ISBN 2-86839-887-1658p.
- 142. SESHADRI CV, 1993:** Large scale nutritional supplementation with spirulina alga. Shri 124. Amm Murugappa Chettiar Research Center (MCRC) : Madras, India ; 1993. Stizenberger 1852. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (D. R. Boone & R.W.
- 143. SGUERA Sebastien ,2008 :** *spirulina platensi* set ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques THESE Docteur en Pharmacie UNIVERSITE Henri Poincaré - Nancy 1 FACULTE DE PHARMACIE 175 page

- 144. SIMPORE J., KABORE F., ZONGO F., DANSOU D., BERE A., PIGNATELLI S., BIONDI DM., RUBERTO G. AND MUSUMECI S, 2006**  
:Nutrition rehabilitation of undernourished children utilizing Spiruline and Misola Nutr J. 5: 3
- 145. SPILLER GENE A, MONICA 2007** : tout savoir sur les fibres .Les éditions le mieux être 307page
- 146. STRIGLER Florence, 2011**:L'alimentation des Laotiens. Cuisine, recettes et traditions au Laos et en France KARTHALA Editions, 15 juin 2011 360 Page
- 147. TSUCHIHASHI N, WATANABE T, TAKAI Y, 1987**: Effect of *Spirulina platensis* on caecum content in rats. Bull Chiba Hygiene College. 1987 ; 5 : 27-30.
- 148. VAN DER MAESEN L.J.G, 1987** : origin , history and taxonomy of chickpea, p .11- 34.In :Saxena , M.C. et Singh, K.B. (ed) the chickpea in MAOUGAL
- 149. VARGA L., SZIGETI J., KOVACS R., FOLDES T et BUTI S. 2002** :“Influence of a *Spirulina platensis*biomass on the microflora of fermented ABT milks during storage (R1).”, *J. Dairy Sci.*, 85(5), 1031-1038.
- 150. VERMOREL M, TOULLEC G, DUMOND D, PION R, 1975** : Valeur énergétique et protéique des algues bleues spirulines supplémentées en acides aminés : utilisation digestive et métaboliques par le rat en croissance. Ann.Nutr.Aliment 1975 ; n°29 : 535-52.
- 151. WEBER Anne-Laure 2012** : la maladie coeliaque : physiopathologie et traitement « guide » de conseils pour le pharmacien d'officine . t h e s e pour obtenir le diplôme d'état de docteur en pharmacie faculte de pharmacie universite de Lorraine 102 Page
- 152. WHO, 2004**: Vitamin and mineral requirements in human nutrition Second edition. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations
- 153. XUE C., HU Y., Saito H., ZHANG Z., LI Z., CAI Y., OU C., LIN H., IMBS A, 2002** :*Molecular species composition of glycolipids from Spirulina platensis*. Food Chemistry. 2002; 77: p. 9-13.
- 154. YAMANE Y, FUKINOH, Icho T, KATO T, SHIMAMATSU H, 1998**: Effect of *Spirulina platensis* on the renal toxicity induced by inorganic mercury and para-aminophénol. In : Summary of Abstracts. 108th Conference of the Pharmaceutical Society of Japan. 1998 .p. 58.

- 155. YETTOU N, 1998** : Les méthodes instrumentales d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur. Mémoire de Magister. INA, El-Harrach, Alger. 101 pages.
- 156. YETTOU N., AIT KACI M., GUEZLANE L., AIT AMAR H, 1998** : Détermination des caractéristiques viscoélastiques du couscous cuit au moyen du viscoelastographe CHOPIN. IAA, 12 : 844-848
- 157. YETTOU N., GUEZLANE L. OUNANE G, 2000** : Mise au point d'une méthode instrumentale d'évaluation de la délitescence du couscous de blé dur. Symposium blé 2000, enjeux et stratégies. Alger 7-9 : 271-276.
- 158. YOUSFI L., 2002** : Influence des conditions de fabrication sur la qualité du couscous. industriel et artisanal. Thèse de Magister. Université Mentouri Constantine, Algérie. 140 pages.

# **Annexes**

**Annexe I** : Carte de présentation de la zone de croissance naturelle privilégiée de la spiruline



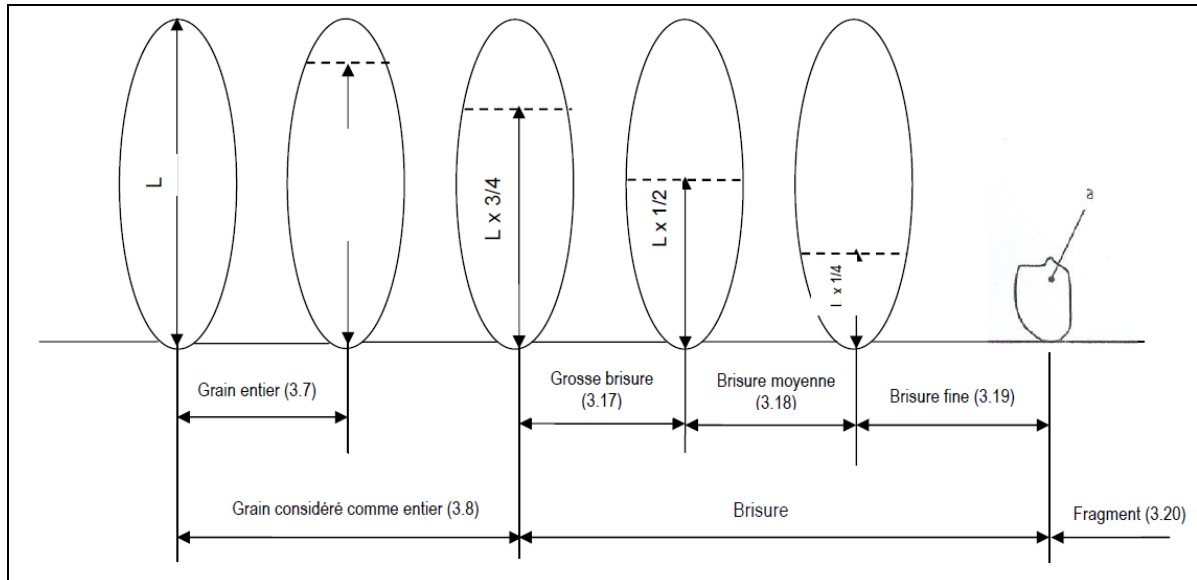
**Figure** : Carte de présentation de la zone de croissance naturelle privilégiée de la spiruline.

Source : ANTENNA TECHNOLOGIES, [www.antenna.ch](http://www.antenna.ch)

## Annexe II : Dimensions des grains des brisures et des fragments Norme

Bénoïse :

NB 01.06.011, Première édition 2012



**Figure** : Taille des grains, des brisures et des fragments (NB 01.06.011 : 2012)

**a** : Ne passe pas à travers d'un trou rond de 1,4 mm de diamètre **L** : est la longueur moyenne : (3.20)

3.8. **Grain considéré comme entier** : grain entier ou partie de grain dont la longueur est supérieure ou égale aux trois quarts de la longueur moyenne des grains de l'échantillon pour essai.

3.7. **Grain entier** : grain décortiqué ou usiné sans aucune partie manquante ou partie de grain dont la longueur est supérieure ou égale aux neuf dixièmes de la longueur moyenne des grains de l'échantillon pour essai.

3.17. **Grosse brisure** : partie de grain dont la longueur est inférieure aux trois quarts mais supérieure à la moitié de la longueur moyenne des grains de l'échantillon pour essai.

3.18. **Brisure moyenne** : partie de grain dont la longueur est inférieure ou égale à la moitié mais supérieure au quart de la longueur moyenne des grains de l'échantillon pour essai.

3.19. **Brisure fine** : partie de grain dont la longueur est inférieure ou égale au quart de la longueur moyenne des grains de l'échantillon pour essai, mais ne passant pas au travers d'un tamis métallique à trous ronds de 1,4 mm de diamètre.

3.20. **Fragment** : partie de grain passant au travers d'un tamis métallique à trous ronds de 1,4 mm de diamètre.

3.21. **Longueur moyenne** : moyenne arithmétique de la longueur des grains de l'échantillon pour essai qui ne sont pas immatures ou mal formés et sans aucune partie brisée.



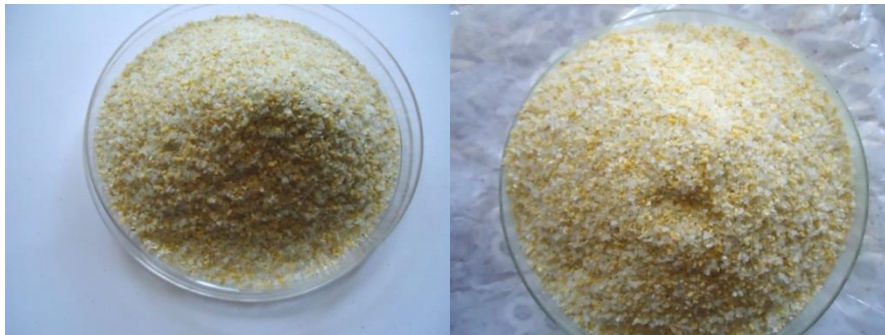
### Annexes III



Semoule riz /Semoule de pois chiche



Semoule riz spiruline 1%/0,5%



Semoule riz pois chiche(2/3 ,1/3) spiruline 1% et 0,5%

**Figure** : Mélange de semoule de riz pois chiche spiruline utilisé (photo original)

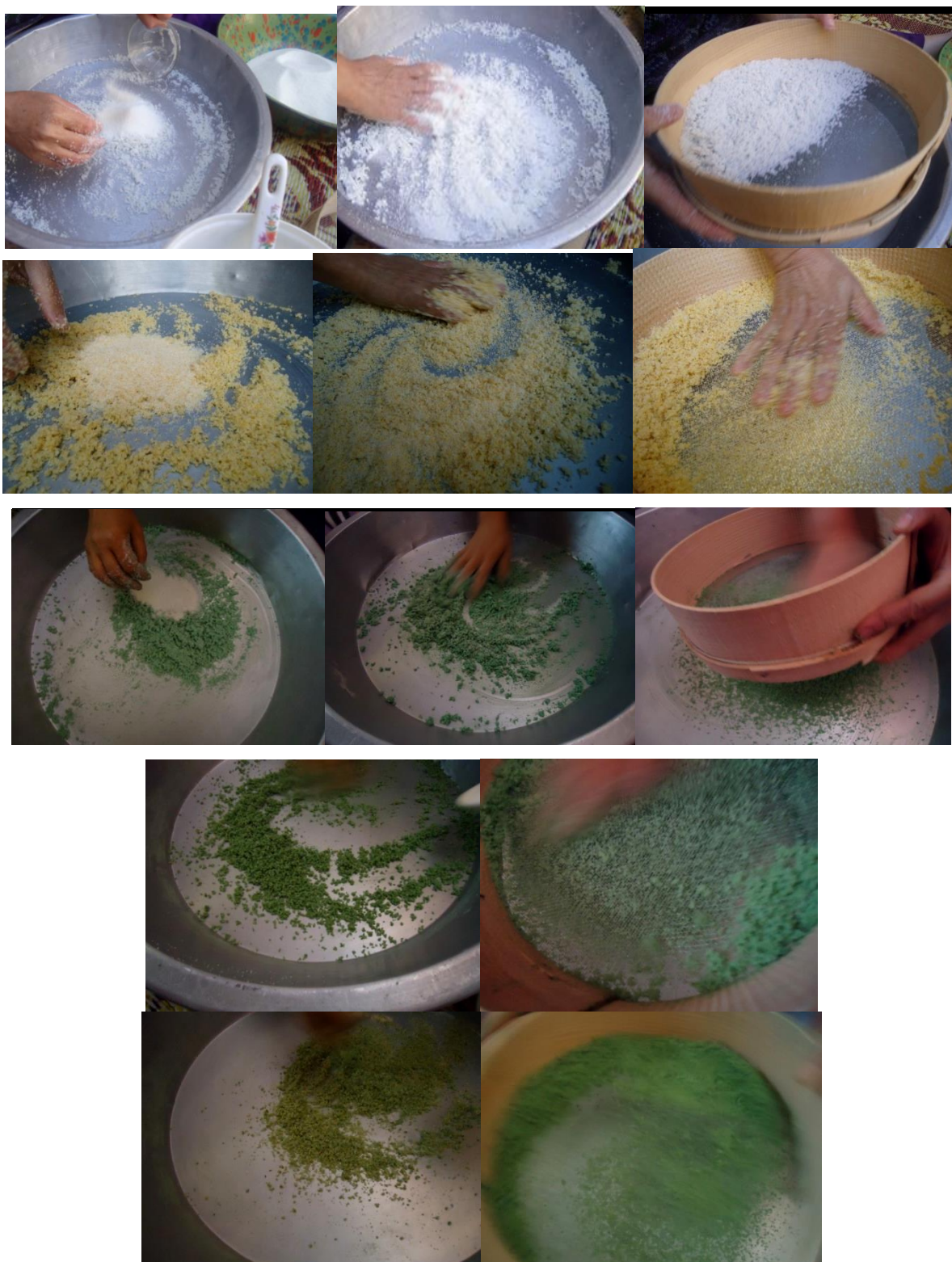
**Annexes IV** : Etapes de roulage pour différentes formules de couscous



**Figure** : Etape de grenaison (Hydratation et roulage circulaire)( photo originale)



**Figure** : Etape de grenaison (calibrage (T Ke 2200 $\mu$ m))(photo originale)



**Figure :** Etape de mise en forme (roulage circulaire et tamisage TK 2000  $\mu\text{m}$ ) (photo originale)



**Figure 14** : Etape de finition (roulage en va et vient et tamisage TR :1000 $\mu$ m)  
(Photo originale)

## Annexe V : Appareillages et Réactifs utilisés :

Acide Sulfurique pur  $d=1,83$

Catalyseur sulfate de potassium pur

Solution d'Hydroxyde de Sodium pur  $d=1,33$

Acide Sulfurique à 0.1 N

Solution d'acide Borique ( $H_3BO_4$ ) à 4 %.

Rouge de méthyle.

Bleu de méthylène

Phénolphtaléine.

solution de l'éthanol à 40%

CAREZ I : dissoudre l'acétate de zinc 21,9g ( $CH_3COO$ )<sub>2</sub>  $2H_2O$  et 3g d'acide acétique glaciale dans 100ml d' $H_2O$  distillée

CAREZ II : dissoudre 10,6 g de ferrocyanure de potassium  $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$  dans 100ml d' $H_2O$  distillée

Solution HCl 25%

Solution de  $KMnO_4$  à 0,02 mol/l

l'alcool L'éthanol à 70-80

Hexane

Solution d'eau salée à 5g /l.

Agitateur magnétique et barreaux .

Balance analytique.

Broyeur à grain.

Etuve de type (CHOPIN 130°C).

Dessiccateur.

Four à moufle.

Minéralisateur.

Distillateur.

Polarimètre

Système d'évaporation(Rotavapor)

Tamis (3300  $\mu m$ , 1000  $\mu m$ .)

Chronomètre

Thermomètre.

Un climatiseur (entre 28°C à 30 °C).

Pompe à vide pour la filtration.

Bain marie.

Hotte

verreries

## **Annexes VII : Présentation des unités**

- ❖ Le groupe SIM semoulerie industrielle de Mitidja, est un fleuron de l'agro-alimentaire créée en 1990 installée dans la zone industrielle Ain Rammana Mouzaia .

Le patrimoine de cette filiale est constitué de :

- 5 semouleries
- 3 minoteries
- 2 unités des pâtes longues
- 4 unités de couscous
- 1 unité de fabrication d'aliment de bétail

L'ensemble s'étale sur une superficie de 90 .000 m<sup>2</sup> ,les capacités globales de ces unités sont :

- Minoterie Semoulerie 2000 tonnes/jour.
- Pâtes alimentaires 300 tonnes/jour.
- Couscous 115 tonnes/jour.
- Aliments de bétails 220 tonnes/jour.

- ❖ ONAB Office National, de l'Alimentation des bétails est un organisme public placé sous la tutelle du ministère de l'agriculture, il participe à la promotion, la recherche et l'intensification de l'alimentation de bétail

Siège sociale, 04 CHEMAIN DE KOUBA Gué de Constantine -Alger

- ❖ Laboratoire de contrôle Physico-chimique des aliments INSFP-IAA – Abou baker Belkaid ,cité El Iskandaria Blida .Sous la tutelle du ministère de la formation et de l'enseignement professionnel situé
- ❖ Atelier Mécanique CFPA TALEB Mouhamed , Rue Larbi Fekir Ouled Yaich Blida .Sous la tutelle du ministère de la formation et de l'enseignement professionnel situé

