

UNIVERSITE DE BLIDA 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département agroalimentaires

MEMOIRE DE MAGISTER

En Sciences agronomiques

Spécialité : Nutrition et transformation des aliments

Effet des conditions de la conservation sur la qualité nutritionnelles et technologiques d'un couscous enrichi en spiruline

Sid Ahmed SAADI

Devant le jury composé de:

T. HADJ SADOK	Maître de conférences (A)	Université Blida 1	Président
A. DOUMANDJI	Maître de conférences (A)	Université Blida 1	Promotrice
A. HADJ ZIANE	Professeur	Université Blida 1	Examinatrice
A. BITAM	Maître de conférences (A)	ENSA, EL Harach	Examineur

Blida, octobre 2015

Avants Propos

Avant toute chose, je remercie Dieu, le tout puissant, pour m'avoir donné la force, la patience, et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Je voudrais tout d'abord remercier Mme A. DOUMANDJI, Maître de conférences (A) à l'université de Blida, département de science alimentaire qui a bien voulu accepter la charge de diriger ce mémoire et pour la confiance qu'elle m'accordé et m'a permis de réaliser ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de mes remerciements les plus sincères, pour tout le temps qu'elle m'a consacré.

Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance aux différents membres du jury qui ont bien voulu juger ce modeste travail :

Mr T. HADJ SADOK Maître de conférences (A) Qui a bien voulu nous faire l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

Mes vifs remerciements et mes respectueux hommages à mon jury de mémoire:

Mme A. HADJ ZYANE, et A. BITAM qui nous font l'honneur d'accepter d'examiner ce travail. Sincères remerciements.

Un grand merci à tous les membres du laboratoire de l'unité couscous Mama Boufarik- Blida pour leur accueil ainsi que leur précieuse aide, particulièrement à M Rabah pour sa patience, son aide, sa disponibilité durant toute la période de réalisation de ce travail sans oublier Mme Amel.

Je désire également remercier : Mr Tafahi DJ responsable de laboratoire d'hygiène de la wilaya de Blida à tous les membres de Laboratoire de PFE de département biologie.

Je n'oublie pas mes collègues qui m'ont aidé : Hafsa, Tarek, Leila Nora, Hicham. Merci énormément à : Djamel, Ahmed, Foued ,

Enfin mille mercis à toute ma famille et les personnes qui ont toujours cru en moi et m'ont toujours encouragé depuis toutes ces années.

RESUME

Les objectifs principaux de ce présent travail portent sur la possibilité de l'incorporation de la poudre de la spiruline dans couscous afin d'améliorer essentiellement la qualité nutritionnelle, technologique et culinaire, et de sélectionner la meilleure température pour conserver le couscous enrichi pour éviter toutes les dégradations au cours de stockage .

La présente étude propose d'incorporer du spiruline comme une poudre à différents taux d'incorporation (témoin ,1%, 2% et 5% de spiruline) dans la semoule de blé dur pour l'obtention d'un couscous artisanal enrichi en nutriments essentiels (protéines, éléments minéraux, vitamine B...etc.) .

Les résultats obtenus ont permis d'émettre des conclusions intéressantes sur le plan physico chimique. En effet, la poudre de la spiruline a révélé une augmentation de la teneur en cendres (1,02- 1,14%) et celles des protéines (12,34- 12,67%). Il a été observé une légère augmentation de l'acidité grasse (0,044-0,047 d' H_2SO_4 /100g de MS) et du taux d'humidité 12,01% à 12,23%.

Sur le plan microbiologique, le couscous enrichi en spiruline présente des caractéristiques conformes aux normes AFNOR.

Sur les plans technologiques le couscous étudié présente une granulométrie des particules plus ou moins homogène qui se situe entre 450 μ m et 1000 μ m.

Les résultats relatifs à l'impacte de la spiruline sur la conservation ont montré :

- Sur la qualité nutritionnelle du couscous une perte de protéines de l'ordre de 41,67% après la 34^{ème} semaine de la conservation pour le couscous conservé à 37 °C et de 15 % (34^{ème} semaine) pour le couscous conservé à 45 °C
- Sur le plan technologique une perte de couleur (perte de la coloration jaune) et une dégradation des particules du couscous ont été notés

Par ailleurs, les résultats obtenus révèlent une bonne acceptabilité par le jury de dégustation.

Mots clés : Couscous, spiruline, conservation qualités nutritionnelles, technologiques et organoleptiques.

ABSTRACT

The main objectives of this study deals with the possibility of incorporating of spirulina in order to improve essentially the quality nutritional, technological and culinary of handmade couscous. And to select the best storage temperature for couscous in order to avoid any defects during storage

This study propose to incorporate spirulina as a powder at different rates (0% and 1%, 2% and 5%) in the durum wheat semolina to Obtain a handmade couscous enriched with essential nutrients (proteins, minerals, vitamin B ... etc.) provided by spirulina

The results obtained allowed issuing findings on the physicochemical term. Indeed, spirulina input an increase in ash (1.02- 1.14%) and proteins (12,34- 12,67%). It was observed a slight increase in fat acidity (H_2SO_4 from 0,044 to 0,047/ 100 g DM) and rate of humidity between 12,01% and 12,23%.

Microbiologically, couscous enriched with spirulina has characteristics complies to standard.

Technological viewpoint, couscous hasan homogeneous granulometry particle size ranging between 450 μ m and 1000 μ m.

The results obtained :

- On the nutritional quality of couscous, a loss in protein value of 41,67% after 34 weeks of conservation for couscous stored at 37°C and 15% for couscous stored at 45°C
- On the technological viewpoint, loss of color (loss of the yellow color) and degradation of the couscous particles. Furthermore, the results show a good acceptability according to the tasting panel.

Key words: Couscous, spirulina, incorporation, conservation, nutritional quality, technological and organoleptic.

تهدف هذه الدراسة الى معرفة دور اضافة مسحوق السبيرولينا في تحسين الخصائص المغذية و التكنولوجيا المتعلقة بإعداد وطهي الكسكى التقليدي. كما يتم تحديد الحرارة الملائمة لحفظ هذا الكسكى من اجل تقادي تراجع جودته اثناء التخزين.

هذه الدراسة سبيرولينا (الشاهد 0 1 2 5)
سبيرولينا سميد
فيتامينات (...).

النتائج المتحصل عليها سمحت لنا ببلوغ عدة استنتاجات مهمة على مستوى الجانب الفيزيوكيميائي.
السبيرولينا الى تقدير زيادة في نسبة الرماد (ما بين 1.02 1.14 %)، زيادة في نسبة البروتينات (ما بين 12.34 12.67 %) ما سجلنا زيادة طفيفة في الحموضة الدهنية (0.044 0.047 /H₂SO₄ 100) و زيادة في نسبة الرطوبة (ما بين 12.01 12.23 %).

الكسكى المضاف اليه مسحوق السبيرولينا مطابق للمواصفات و المقاييس وبيولوجية. في الجانب التكنولوجي لاحظنا تجانس في العناصر الحبيبية لهذا الكسكى حيث يتراوح قطر كل عنصر بين 1000 450 ميكرومتر.

بالنسبة للنتائج الخاصة بتاثير اضافة السبيرولينا على حفظ الكسكى سجلنا:

37 * تناقص في القيمة الغذائية بفقدان بروتينات بنسبة 41.67 % 34
15 % في درجة حرارة قدرها 45 .

* في الجانب التكنولوجي لاحظنا فقدان اللون المميز للكسكى () و تراجع في حبيبية الكسكى رغم ان الخصائص الذوقية لاقت استحسانا من طرف لجنة التذوق.

الكلمات المفتاحية: ، سبيرولينا، قيمة غذائية، جية و حسية.

TABLE DES MATIERES

AVANTS PROPOS

RESUME

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATION

LISTE DES ILLUSTRATIONS, BRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION..... 15

17

CHAPITRE 1. LA SPIRULINE

1.1 Généralités sur la spiruline.... 17

1.1.1 Définitions. Spiruline 17

1.1.2. Appellations..... 17

1.1.3. Historique..... 18

1.1.4. Taxonomie..... 19

1.1.5. *Morphologie*. 19

1.1.6. Ultra-structure..... 21

1.1.7. Distribution géographique..... 22

1.1.8. Cycle biologique..... 23

.1.1.9.La croissance de la spiruline..... 24

1.2. Aspect nutritionnel de la spiruline..... 24

1.2.1. Composition en protéines..... 25

1. 2.1.1. Composition en protéines et acides aminés..... 25

1.2.2.2. Utilisation protéique nette 26

1.2.2.3. Efficacité protéique..... 26

1.2.2. Lipides..... 27

1.2.3. Glucides 28

1.2.4. Vitamines..... 29

1.2.5. Minéraux et oligo-éléments..... 30

1.2.6. Composition en acides nucléiques.....	<u>31</u>
1.2.7. Pigments.....	<u>32</u>
1.3. Activités thérapeutiques de la spiruline.....	<u>32</u>
1.4. Spiruline et malnutrition.....	<u>33</u>
1.5. Toxicologie	<u>34</u>
1.5.1. Métaux lourds	<u>34</u>
1.5.2. Cyanotoxines	<u>34</u>
1.5.3. Risques de surdoses	<u>35</u>
1.6. Potentialités et utilisation de la spiruline.....	<u>36</u>
1.6.2. Spiruline, un aliment fonctionnel	<u>36</u>
1.7. Valeur nutritionnelle	<u>37</u>
1.8. Valeur énergétique	<u>37</u>
1.9. Valeur sensorielle	<u>37</u>
1.10. Valeur fonctionnelle	<u>38</u>
1.11. Formulations alimentaires.....	<u>39</u>
1.12. Spiruline à usage animal	<u>40</u>
1.13. Utilisation de la spiruline en industrie cosmétique	<u>41</u>

CHAPITRE 2 : Généralité sur le blé dur et le couscous 42

2.1. Caractéristique générale de blé dur	42
2.2 Morphologie et histologie	42
2.2.1. Le germe.....	43
2.2.2. Les enveloppe.....	43
2.2.3. Albumen ou amande.....	43
2.3. Composition biochimique du grain de blé.....	43
2.3.1. Eau.....	43
2.3.2. Glucides	44
2.3.3 Protéines	44
2.3.5. Lipides.....	44
2.3.5. Matières minérales	45
2.3.6. Vitamines.....	45
2.3.7. Fibres alimentaire végétales (FAV)	45

2.3.8 Enzymes.....	45
2.4. Semoule.....	46
2.4.1 Technologie semoulière.....	46
2.4.2. Préparation du blé à la mouture (le mouillage)	47
2.4.3 Mouture.....	48
2.5. Couscous.....	50
2.5.1 Semoule.....	50
2.5.2. Qualité de la semoule.....	50
2.5.3 Qualité de semoule destinée à la fabrication du couscous.....	51
2.6. Définition du couscous	52
2.7. Composition et valeur nutritionnelle.....	52
2.8. Mode de fabrication.....	53
2.8.1 Procédé industriel.....	53
2.8.2 Procédé de fabrication du couscous artisanal.....	54
2.9. Influence de la semoule sur la qualité du produit fini	56
2.10 Les caractéristiques culinaires du couscous.....	56
2.11 La qualité technologique et nutritionnelle.....	57

CHAPITRE 3 : Matériel et Méthodes

3.1 Le matériel	59
3.1.1. Matériel biologique.	59
3.1.1.1. Semoule et couscous	59
3.1.1.2. La spiruline	60
3.1.2. Matériel non biologique.....	60
3.2. Méthodes	62
3.2.1. Procédé de fabrication du couscous	62
3.2.2. Taux d'incorporation de la spiruline sèche.....	65
3.2.3. Méthodes d'analyses.....	67
3.2.3.1 Analyses effectuées sur l'eau de fabrication (AFNOR 1986):	67
3.2.3.1.1 Détermination du Titre Alcalimétrique (TA) et Titre Alcalimétrique Complet (TAC) d'eau	67
3.2.3.1.2 Détermination du titre hydrométrique ou TH de l'eau	68
3.2.3.2. Caractérisation physico-chimique de la spiruline.....	69

3.3.3.2.1. Détermination du pH.....	69
3.2.3.2.2. Détermination de la teneur en humidité.....	69
3.2.3.2.3. Estimation de la matière sèche.....	70
3.2.3.2.4. Détermination du taux de cendres.....	70
3.2.3.2.5. Estimation de la matière organique.....	71
3.2.3.2.6. Détermination de la teneur en protéine (Méthode Kjeldahl) ...	72
3.2.3.2.7. Détermination de la teneur en matière grasse.....	73
3.2.3.2.8. Détermination de la teneur de la cellulose brute.....	74
3.2.3.2.9. Détermination de la teneur en glucides totaux.....	75
3.2.3.2.10. Valeur énergétique	77
3.2.3.2. Caractérisation physico-chimique de semoule et couscous	77
3.2.3.2.1.. Taux d'humidité.....	77
3.2.3.2. Dosage des lipides libres.....	77
3.2.3.3. Dosage des protéines totales.....	77
3.2.3.4. Taux de cendres.....	77
3.2.3.5. Teneur en gluten humide.....	78
3.2.3.5. Teneur en gluten sec.....	78
3.2.4. Analyses technologiques.....	78
3.2.4.1. Extensibilité du gluten.....	79
3.2.4.2. Ramollissement du gluten.....	79
3.2.5.. Qualité technologique.....	80
3.2.5.1 La granulométrie.....	80
3.2.5.2. Indices de colorations (CIE)	81
3.2.6. Qualité culinaire du couscous.....	81
3.2.6.1. Temps de cuisson.....	81
3.2.6.1.1 Cuisson de couscous.....	81
3.2.6.1.2. Détermination du temps de cuisson.....	82
3.2.6.1.3. Indice gonflement.....	82
3.2.6.1.4. Délitescence.....	82
3.2.6.1.5. Comportement de l'amidon.....	83
3.2.7. Qualité organoleptique du couscous.....	83

3.2.8. Valeur nutritionnelle du couscous.....	83
3.2.9. Caractérisation microbiologique.....	84
3.2.9.1. Préparation des échantillons.....	84
3.2.9.2. Recherche et dénombrement des germes aérobies mésophiles totaux.	84
3.2.9.3. Dénombrement des spores d'anaérobies sulfito-réducteurs.....	85
3.2.9.4. Recherche et dénombrement des coliformes	87
3.2.9.5. Recherche et dénombrement des levures et moisissures	89
3.2.9.6. Recherche de <i>Staphylococcus aureus</i>	90
3.2.9.7. Recherche des salmonelles	91
3.2.9.8 La conservation des couscous formulés	91

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4. 1. Le couscous obtenus	92
4.2. Composition biochimique des matières premières	93
4.2.1.L'eau de process	93
4.2.1. Résultats des analyses physico-chimiques de la spiruline	93
4.2.1.1.Le pH	94
4.2.1.2.Humidité et matière sèche	94
4.2.1.3.La teneur en cendres et la matière organique	94
4.2.1.4.Protéines	95
4.2.1.5.Cellulose brute	96
4.2.1.6. Matière grasse	96
4.2.1.7.Glucides totaux	96
4.2.1.8.La valeur énergétique	97
4.2.2.Résultats des analyses physico-chimiques du couscous et le semoule....	97
4.2.2.1 le semoule	97
4.2.2.1 1.La teneur en eau	98
4.2.2.1 2.La teneur en cendre.....	98
4.2.2.1 3.Teneur en protéines.....	99
4.2.2.1 4.Acidité grasse des semoules.....	99
4.2.2.1 5.La teneur en gluten (gluten sec et humide)	99

4.2.2.1 6.Le coefficient d'hydratation (CH)	100
4.2.2.2. Le couscous.....	100
4.2.2.2.1. La teneur en eau	100
4.2.2.2.2.La teneur en cendres	101
4.2.2.2.3.Les lipides	102
4.2.2.2.4.L'acidité grasse.....	103
4.2.2.2.5.La teneur en protéines totales.....	103
4.2.3.La qualité technologique des couscous	104
4.2.3.1.La granulométrie	104
4.2.3.2.Indices de coloration	105
4.2.4.La qualité culinaire des couscous	107
4.2.4.1.Gonflements à froids et a chaud	107
4.2.4.2.La délitescence.....	109
4.2.4.3.Le comportement de l'amidon.....	111
4.2.4.4.Le test de cuisson.....	112
4.3. Résultats des analyses microbiologiques.....	113
4.3.1. La spiruline	113
4.3.2. L'eau de process	114
4.3.3. Semoule et couscous	115
4.4. Impacte de la conservation sur la qualité nutritionnelle des couscous	116
4.4.1. La teneur en protéine	116
4.4.2. Impacte de la conservation sur la croissance des moisissures.....	118
4.4.3. Impacte de la consarvation sur la coloration du couscous	120
4.4.4. Impacte de la conservation sur la granulométrie	123
4.5..Résultats de l'évaluation sensorielle du couscous enrichi en farine spiruline.....	126
Conclusion.....	128
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	130
APPENDICES.....	148

LISTE DES ABREVIATIONS

AFNOR : Association Française de Normalisation

CB : Cellulose Brute

FAO: Food and agricultural organization

G: Gonflement.

GH: Gluten Humide.

GS: Gluten Sec.

H: Humidité.

H₂SO₄: Acide sulfurique

HCl : Acide chlorhydrique

IG : Indice de Gonflement.

ISO : Organisation internationale de la normalisation.

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne.

MG : Matière grasse

MS : Matière sèche

N : Normalité

NaOH : Hydroxyde de sodium

NF : Norme Française.

OGA : Oxytétracycline Gélose Agar.

pH : Potentiel d'hydrogène.

SM : Solution mère.

TA : Titre Alcalimétrique simple.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TH : Titre Hydrotimétrique.

TSE : Tryptone Sel Eau.

Aw : activité de l'eau

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHES ET TABLEAUX

ILLUSTRATIONS

Figure1.1: Différentes formes prises par la spiruline.prises.(a) Forme spiralée (<i>Arthrospira fusiformis</i>) ; (b) Forme ondulée (<i>Spirulina maxima</i>) (c) Forme droite (<i>Spirulina subsala</i>)	21
Figure 1.2 : Cycle biologique de la spiruline	23
Figure 1.3 : Structure d'un grain de blé	42
Figure2.4 : Diagramme du procédé de la première transformation de blé dur	49
Figure 3.5 : Echantillons de la spiruline (photo originale)	60
Figure3.6: Matériel de fabrication artisanale de couscous (photo originale)	62
Figure3.8 : Diagramme de fabrication du couscous artisanal (couscous témoin).	64
Figure3.9 : Diagramme de fabrication des couscous artisanal enrichie en spiruline (1% ,2 et 5 % de la spiruline).selon Doumandji et al 2011	66
Figure 3.10 Présentation de la méthode de Kosmina et Kranz modifiée par Muller (1969)[79
Figure 3.11. Présentation de la méthode de Kauzes et al. (1966	80
Figure4.12 : Les différents types des couscous fabriqué (photo original)	92
Figure 4.13 : La teneur en eau des 4type du couscous	100
Figure 4.14 : La teneur en cendres du différent type de cosucous	101
Figure 4.15 : La teneur en lipides du différent type de couscous	102
Figure 4.16 : La teneur en protéine du couscous artisanal à différents taux d'incorporation de la spiruline (0% et 1% ,2 et 5%).	104
Figure 4.17 : La granulométrie du couscous artisanal à différents taux d'incorporation de la spiruline (0% et 1% ,2 et 5%).	104
Figure 4.18 : L'indice de coloration du couscous selon le taux de l'incorporation de la spiruline.	106
Figure 4.19 : Le gonflement à froid du couscous artisanal à différents taux d'incorporation de la spiruline (0% et 1% ,2 et 5%).	108
Figure 4.20 : Le gonflement à chaud du couscous artisanal à différents taux d'incorporation de la spiruline (0% et 1% ,2 et 5%).	109

Figure 4.21 : La délitescence des échantillons de couscous artisanal à l'état cru et cuit à différents taux d'incorporation de la spiruline (0% et 1%, 2 et 5%).	110
Figure4.22. La teneur en protéine des différents types de couscous conservé a 37C°	117
Figure4.23. La teneur en protéine des différents types de couscous conservé a 45C°	118
Figure 4.24 ; La courbe de la croissance des moisissures dans les 4 types des couscous a T45C°	120
Figure 4.25: La courbe de la croissance des moisissures dans les 4 types des couscous a T37C°	120
Figure 4.26: Indice de coloration à la 1 ^{ère} semaine (couscous 37 C°)	122
Figure 4.27: Indice de coloration à la 15 ^{ème} semaine (couscous 37 C°)	122
Figure 4.28: Indice de coloration à 32 ^{ème} semaine (couscous 37 C°)	123
Figure 4.29: La granulométrie du couscous durant la période de stockage à la température de 37C° (1 ^{er} semaine).	125
Figure 4.30: La granulométrie du couscous durant la période de stockage à la température de 37C° (18 ^{ème} semaine).	126
Figure 4.31: La granulométrie du couscous durant la période de stockage à la température de 37C° (34 ^{ème} semaine.)	126

Tableaux

Tableau 1.1: La classification systématique de la spiruline	19
Tableau 1.2: Quantité de protéines de spiruline et autres aliments	25
Tableau 1.3: Composition en acides aminés de spiruline en mg	27
Tableau 1.4: Profil typique des acides gras de la spiruline	28
Tableau 1.5: Les glucides de la spiruline	29
Tableau 1.6: Teneur en vitamines en µg/g de matière sèche de spiruline d'après Mani U (2000) complété par d'autres références pour la vitamine E	30
Tableau1 .7 : Teneurs en minéraux et oligo-éléments de la spiruline	31
Tableau1.8: Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10 g de matière sèche de <i>Spirulina platensis</i> .	32

Tableau 2.9: Composition comparée de 100g de couscous ou pâtes alimentaires et de quelques aliments	53
Tableau 4.9 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de process.	93
Tableau 4.10 : Résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de spiruline étudiée.	94
Tableau 4.11 : la composition de la semoule analysé	97
Tableau 4.12: Résultats des essais de cuisson des échantillons de couscous analysés.	112
Tableau4.13.: Résultats des analyses microbiologiques de la spiruline utilisée.	113
Tableau 4.14: Résultats des analyses microbiologique de l'eau de process	114
Tableau 4.15 : Résultats des analyses microbiologiques des différents échantillons de couscous.	115

INTRODUCTION

Les céréales, blé dur (*Triticum Durum*) toujours occupé une place prépondérante dans l'alimentation humaine notamment des algériens. Longtemps considérées comme des aliments énergétiques de par leur richesse en glucides, elles constituent néanmoins une source importante de protéines alimentaire proviennent des céréales sous différentes plats.

Le blé est actuellement une des céréales les plus cultivées au monde avec une production annuelle totale de près de 680 millions de tonnes. Le blé dur est une céréale cultivée notamment dans tout le bassin méditerranéen. Du fait de sa faible résistance au froid et à l'humidité, sa culture nécessite un ensoleillement élevé. Aux vues de ces exigences, le rendement annuel est sujet à de fortes variations liées aux conditions climatiques [1].

Le blé dur et la semoule qui en est extraite se prêtent aujourd'hui à la fabrication souvent industrielle d'un nombre extraordinairement diversifié d'aliment : galette, couscous, pâtes alimentaires..., pour ne citer que les plus connus. Cette diversité d'usage, le blé dur la doit à sa capacité en protéines, à l'amidon qui constitue la plus grande partie du grain, les lipides, pentosanes, enzymes [2].

La supplémentation des céréales par des aliments riches en glucides et en minéraux est donc une solution intéressante, mais le choix de supplément doit être adapté aux besoins et aux habitudes alimentaires des populations. A cet effet, le blé dur s'est imposé par sa consommation élevée notamment en milieu rural.

C'est dans ce sens, que nous avons retenu le couscous qui est parmi les principaux plats chez les familles algériennes. Malgré l'actuelle diversification de l'alimentation, ce plat est coutumier et plus apprécié par la population rurale et urbaine du Maghreb et reste le plat des occasions et des fêtes [3].

Le couscous constitue le symbole de l'identité alimentaire des populations du Maghreb. Il a réussi à conquérir la France [4]. Du fait de sa qualité culinaire et sa technologie particulière, il reste jusqu'ici apprécié par toutes les générations [5].

Le sujet à été proposé par Dr DOUMANDJI Amel dans le cadre de son Brevet

d'inventaire N°120576.

La présente étude propose d'incorporer la spiruline dans l'alimentation quotidienne de la population algérienne pour apporter un plus de nutriments. Cette incorporation s'effectuera dans les céréales, l'aliment élémentaire de la nutrition. Ces dernières sont caractérisées par une faible teneur en protéines essentiellement en lysine.

La durée de vie d'un produit peut être définie par la période pendant laquelle il ne présente aucun signe de détérioration sensorielle et demeure sain dans des conditions de la conservation et de stockage normales. Les détériorations peuvent être de plusieurs ordres :

- **Sensorielles** : perte de goût, apparition de goûts étrangers, changement de couleur, perte de "moelleux", de "croustillant" ;
- **Microbiologiques** : moisissures essentiellement
- **Nutritionnelles** : non-maintien des éléments nutritionnels déclarés.

Ces facteurs ont tous une influence significative et il convient donc de n'en négliger aucun. On peut rajouter à cette liste les traitements éventuels qui ont leur importance, pour allonger la durée de vie des produits.

Les principaux objectifs de cette étude sont :

- Une étude basée sur des analyses physicochimiques et microbiologiques est réalisée sur la matière première (semoule et spiruline) et sur l'eau de procès.
- Amélioration de la valeur nutritionnelle du couscous artisanal avec l'incorporation de la de la spiruline à différents taux d'incorporation sont 1 % ,2 % et 5%.
- Une étude basée sur des analyses physicochimiques, microbiologiques et organoleptique du produit fini (couscous artisanal).
- Prévenir l'apparition de certains défauts dans nous produits, c'est une façon de prolonger la durée de vie de ces produits.

CHAPITRE 1

LA SPIRULINE

1.1. Généralités sur la spiruline.

1.1.1. Définitions. Spiruline.

On connaît actuellement quelques 25 000 espèces d'algues sur la planète Terre., Parmi elles, on peut distinguer une algue bleue microscopique, il s'agit de la *Cyanobactérie Arthrospira Platensis*, plus connue sous le nom de Spiruline [6]. Elle fait partie des micro-organismes : ni végétale ni animale [7].

Ce groupe comprend l'ensemble des bactéries autotrophes, c'est-à-dire capables d'utiliser l'énergie de la lumière pour la photosynthèse [8].

Considérée souvent comme une algue planctonique microscopique, la spiruline est en fait une bactérie appartenant aux cyanobactéries filamenteuses du genre *Arthrospira*, le plus souvent enroulée en spires (d'où son nom commercial). Son nom scientifique est cyanobactérie *Arthrospira platensis* ou *A. maxima*. Elle pousse naturellement dans les lacs chauds du Tchad et du Mexique, mais aussi dans les lacs alcalins riches en carbonates et bicarbonates à pH élevé. La spiruline est en fait la plus ancienne forme de vie « verte », apparue sur la terre il y a environ 3,5 milliards d'années [9-10 ; 11-6].

1.1.2. Appellations.

Spiruline, *Spirulina* ou *Arthrospira*. Il faut retenir que le terme "Spiruline" correspond au nom commercial d'une cyanobactérie appartenant toujours au genre *Arthrospira*. "*Spirulina*" est le nom commercial anglais de la même cyanobactérie mais il désigne également un genre de cyanobactérie assez éloigné d'*Arthrospira*, et surtout non comestible. « *Arthrospira* » étant le nom scientifique (genre) d'un groupe de cyanobactéries auquel appartient notre spiruline alimentaire [11].

La spiruline, avait différentes appellations dont on peut citer :

- *La Portion magique* : Mentionnée par Christophe Colomb ;
- *Le Dihé* : Par les Kanembous, tribu du Tchad ;

- *Le Tecuitlatl* : Par les Aztèques [11].

1.1.3. Historique.

Les cyanobactéries, cyanobiontes ou encore cyanophycées selon les préférences, sont la famille d'algues bleues-vertes à laquelle appartient la spiruline, qui elle-même peut être indifféremment appelée *Arthrospira* sp ou *Spirulina* sp.

Des traces de cyanobactérie ont déjà été détectées dans des stromatolithes (restes de filaments d'algue pétrifiés dans du calcaire) datant de 3,7 milliards d'années, en Afrique du Sud [12].

La spiruline, si elle est l'une des premières formes de vie terrestre, n'en a pas moins suscité que tardivement l'intérêt des scientifiques :

- En 1492, Christophe Colomb la découvrit au Mexique, sous forme de petites galettes vertes séchées et le note dans son carnet de bord ;
- Cortès, qui en ses mémoires décrit vers 1521 la façon dont les aztèques la récoltaient et la consommaient ;
- La spiruline décrite pour la première fois par Wittrock et Nordstedt en 1844 [12].
- Elle fut redécouverte, au Tchad, vers 1930 par un pharmacien français des troupes coloniales puis en 1940 par le botaniste français Dangeard [8];
- Elle resta une simple curiosité avant le 7^{ème} 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 [11].
- En 1959, Brandilly, anthropologue et cinéaste, publie un article sur la spiruline : « Depuis des lustres, une tribu africaine du Tchad (les *Kanembous*) exploite la nourriture de l'an 2000 » [8] ;
- La première culture artisanale de spiruline méritant vraiment cette appellation revient sans doute à FOX Ripley qui fut le premier à lancer cette activité en Inde en 1973, en collaboration avec le *Navsari Agricultural College* [11].

- Ce fut l'origine de sa première exploitation industrielle, en 1976, par la société *Sosa Texcoco* basée au Mexique. Actuellement, le nombre de ces exploitations avoisine la trentaine [11].
- En Algérie, aucune allusion à la consommation ou à l'utilisation de la spiruline n'est faite. Son existence dans notre pays, n'a été signalée qu'au cours de ces vingt dernières années. De modestes initiatives ont été entreprises au lacs d'El Goléa ; à Tamanrasset et plus récemment, en 2009 à Mostaganem.

1.1.4. Taxonomie

La classification systématique de la spiruline a été étudiée par plusieurs auteurs. Gardner (1917) [14]. a suggéré de retenir le nom « *Arthrospira* » pour les formes à paroi visiblement cloisonnée et celui de « *Spiruline* » pour les formes à cloisons invisibles. Par la suite, Vidalo (2008) [15]. Les a classés comme suit (Tableau 1.1) :

Tableau 1.1 : La classification systématique de la spiruline [15].

Règne	<i>Monera</i>
Sous règne	<i>Pocaryota; Phylum: Cyanophyta</i>
Classe	<i>Cyanophyceae</i>
Ordre	<i>Nostocales</i>
Famille	<i>Oscillatoriacelae</i>
Genre	<i>Arthrospira.</i>
Espèce et sous-espèce	<i>A. plantensis, A. maxima, A. toliara</i> <i>A. lonar et autres</i>

1.1.5. Morphologie.

C'est une cyanophycée microscopique pluricellulaire bleu-vert, qui se présente sous la forme de brins, parfois en hélice (0,2 à 0,3 mm de long). 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* » [16].

Ce filament est appelé trichome, les paramètres de l'hélice (épaisseur, longueur) ne sont pas toujours les mêmes selon les chercheurs qui étudient la spiruline [39]. Les facteurs environnementaux tels la température, les conditions physiques et chimiques, auraient cependant une influence sur la géométrie et l'orientation de l'hélice [17-18].

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. Cette morphologie typique lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis [19].

Cependant les spirulines présentent différentes formes. On trouve des formes spiralées classiques, ondulées et parfois droites. Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat [11].

Les scientifiques étudiant la spiruline ont donc d'abord pensé qu'il existait de nombreuses espèces d'*Arthrospira* ; en fait, l'analyse de leurs caractéristiques génétiques, effectuées par Scheldeman et al. 1999, basées sur l'ARDA ne fait apparaître que deux espèces presque identiques d'*Arthrospira* [20]. Ils supposent alors que de ces deux espèces dérivent plusieurs souches.

Actuellement, 50 souches d'*Arthrospira* recensées à travers le monde ont été étudiées pour en décrire la diversité génétique.

Un travail de classification de différentes souches d'*Arthrospira*, récemment réalisé, repose sur le séquençage génétique d'un fragment d'ADN hypervariable. Il en ressort une très forte homogénéité du genre *Arthrospira*, même lorsque les souches ont des morphologies variées cette étude montre qu'il n'existerait *a priori* que deux espèces génétiquement différentes parmi ces souches [21]. Ces deux espèces sont : *Arthrospira platensis*, initialement originaire du Kanem (Tchad) et *Arthrospira geitleri* ou *maxima*, originaire du Mexique.

Les cellules de cyanobactéries n'ayant pas de plastides individualisés, leur coloration est homogène. Cependant, en microscopie optique, on distingue une zone périphérique colorée (le *chromoplasma*) et une partie centrale plus claire (le *centroplasma*) [

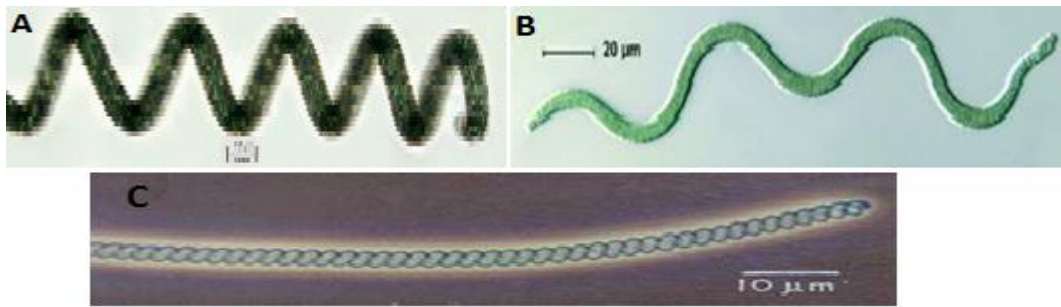


Figure 1.1: Différentes formes prises par la spiruline. [22].

- (a)** Forme spiralée (*Arthrospira fusiformis*) ; **(b)** Forme ondulée (*Spirulina maxima*)
(c) Forme droite (*Spirulina subsala*)

1.1.6. Ultra-structure.

La microscopie électronique a aussi permis de mieux connaître la structure et le fonctionnement de ces cellules. Leur organisation est relativement simple et semblable à celle des cellules de procaryotes [18 - 23] :

- Absence de membrane nucléaire et donc de noyau bien individualisé ;
- Absence de mitochondries, réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, et flagelles;
- Les cellules sont limitées par une fine membrane constituée de 4 couches minces différenciables en microscopie électronique : deux d'entre elles présentent une analogie chimique et structurale avec la paroi des bactéries gram négatif car elles sont riches en mucopolymères et mucopeptides. Elles sont néanmoins un peu plus complexes, mais il est important de retenir que cette membrane est totalement exempte de cellulose. Une enveloppe externe, riche en caroténoïdes, peut parfois l'enrober ; [18]
- Sur le plan ultra structural, le chromoplasma apparaît comme un système membranaire comprenant des thylakoïdes ; la spiruline ne renfermant pas de chloroplastes, ce sont ces thylakoïdes qui constituent les sites de photosynthèse. Ce sont des filaments pigmentés disposés généralement de façon pariétale concentrique. Ils renferment les phycobilisomes, granules porteurs des pigments photosynthétiques (chlorophylle a, -carotène et oxycaroténoïdes, phycocyanine et phycoérythrine). [21]
- Le nucléoplasme (ou centroplasma) correspond d'une part, à des fibrilles d'acide désoxyribonucléique (ADN) représentant le génome (entre 2 et 8×10^9

Daltons) et, d'autre part, à des grains d'acide ribonucléique (ARN). L'ADN est colorable par les réactifs histologiques classiques (Feulgen, hématoxyline, etc.) et visible au microscope électronique sous forme de fines aiguilles de 250 nm. [25]

- Le chromoplasma présente de nombreuses inclusions dont les plus importantes sont [24] :
 - Les granules de cyanophycine : la cyanophycine, molécule propre aux cyanobactéries, est un polymère d'acide aspartique et d'arginine. Ce polypeptide, non fabriqué par les ribosomes, constitue une forme de réserve d'azote et d'énergie ;
 - Les carboxysomes : ils contiennent le ribulose-1,5 phosphate carboxylase, responsable de la fixation du CO₂. Cette enzyme n'est présente que dans des conditions de hautes intensités lumineuses et de hautes concentrations en nitrates ;
 - Les granules d'amidon cyanophycéen (glycogène), d'hydrates de carbone similaires à l'amylopectine et ceux de volutine (polyphosphates) constituent des formes de réserve énergétiques ;
 - Les ribosomes riches en acide ribonucléique ;
 - Les globules lipidiques ;
 - Les vésicules de gaz : elles se présentent sous la forme de faisceaux de minuscules cylindres contenant de l'azote. Leur rôle est de réguler la flottabilité des filaments de spiruline. [25]

1.1.7. Distribution 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. 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. [26]

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. [11]

1.1.8. Cycle biologique

Le cycle est schématisé dans la figure 1.2 la spiruline se reproduit par bipartition par scission simple. C'est une reproduction asexuée, par segmentation des filaments [26, 27].

Le filament de spiruline à maturité forme des cellules spéciales appelées *nécriidies*. Elles se différencient des autres cellules par leur aspect biconcave et sont assimilées à des disques de séparation. A partir de ces derniers, le trichome se fragmente pour donner de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelés *hormogonies*. Les hormogonies vont croître en longueur par division binaire (chacune des cellules va donner deux cellules par scissiparité) et prendre la forme typique hélicoïdale. En conditions expérimentales, le temps de génération maximal de la spiruline est de l'ordre de 7 heures [26].

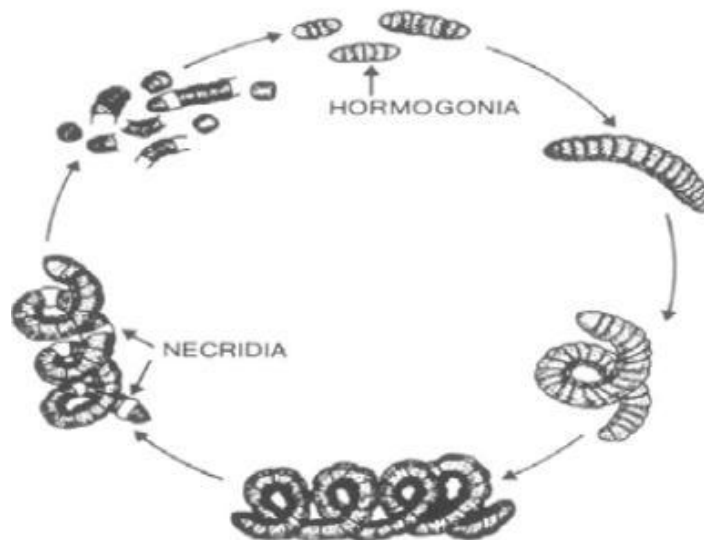


Figure 1.2 : Cycle biologique de la Spiruline selon [28].

.1.1.9. La croissance de la spiruline

La spiruline est une espèce photoautolitotrophe (grâce à ses pigments chlorophylliens), aérobie. Par conséquent, elle est dotée des photosystèmes I et II [29]. La photosynthèse constitue alors la clé de sa croissance.

Pour sa photosynthèse, la spiruline a besoin d'eau, de carbone, et d'éléments nutritifs dont l'azote en particulier. Elle assimile une source de carbone minéral (le CO₂ atmosphérique) et la convertit en énergie biochimiquement utilisable représentée par le glucose. Son point commun avec les autres cyanobactéries est qu'elle ne possède pas le cycle de Krebs complet [11 ; 30].

L'énergie lumineuse est captée par des pigments assimilateurs représentés par les chlorophylles. La chlorophylle de la spiruline et des autres bactéries photosynthétiques se situe dans les régions spécialisées de leur membrane cellulaire : les phycobilisomes des thylacoïdes. La photosynthèse est divisée en deux phases : une série de réactions dites "lumineuses" et une série de réactions dites "obscurées" [31].

1. 2. Aspect nutritionnel de la spiruline

La spiruline est un aliment naturel qui a des valeurs nutritionnelles exceptionnelles. Championne toute catégorie, elle contient plus de protéines, de bêta-carotène, de vitamine B₁₂, de fer, et d'acide gamma linoléique qu'aucun autre aliment connu.

La composition de la Spiruline dépend des éléments chimiques dont elle dispose dans le milieu. La culture en bassin permet en tous les cas de maîtriser la qualité [28].

La plupart des études des constituants de la spiruline ont été réalisées sur *Spirulina platensis* (connue aussi sous l'appellation de *Arthrospira platensis* ou *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 [28]

1.2.1. Composition en protéines

1. 2.1.1.. Composition en protéines et acides aminés

La teneur en protéines de la spiruline est élevée. Elle représente 10 à 11% de la masse humide, soit 60 à 70% de sa matière sèche [32, 28, 33, 34]. Ce pourcentage est bien plus élevé que celui du poisson (25%), du soja (35%), de la poudre de lait (35%) et des céréales (14%) [35], viande (20%) [32 ,36]. Cette richesse est cependant à relativiser compte tenu de la faible quantité de spiruline utilisée en complément alimentaire (<10g par jour) [33].

Ce micro-organisme ne possède pas de paroi cellulosique mais une enveloppe relativement fragile, constituée de polysaccharides. Cette faible teneur en cellulose explique sa digestibilité de l'ordre de 75 à 83%. De ce fait, la Spiruline ne nécessite pas de cuisson ni même l'administration d'un traitement spécial pour une bonne digestibilité protéique.) [28]

Tableau 1.2: Quantité de protéines de spiruline et autres aliments [37] .

Aliments	Protéines (%)
Spiruline	65
Œufs entiers en poudre	47
Levure de bière	45
Lait en poudre écrémé	37
Farine de soja	35
Entière Fromage parmesan	36
Germe de blé Arachides	27
Poulet	26
Poissons	24
Viande	22
bœuf	22

1.2.2.2. 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 % [38 ; 39].

1.2.2.3. 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, [39].

D'un point de vue qualitatif, les protéines de la spiruline sont complètes, car tous les acides aminés essentiels y figurent, ils représentent 47% du poids total des protéines. Parmi ces acides aminés essentiels, les plus faiblement représentés sont les acides aminés soufrés: méthionine et cystéine [40].

La composition en 'acides aminés montre que la valeur biologique des protéines de la spiruline est très haute (Tableau 1.3), et que l'optimum pourrait être atteint par complémentarité avec une bonne source d'acides aminés soufrés [41].

Tableau 1.3: Composition en acides aminés de spiruline en mg/[42].

Acides aminés		mg/100g	Acides aminés		mg/100g
Acides aminés essentiels	Histidine	1000	Acides aminés non essentiels	Alanine	4590
	Isoleucine	3500		Arginine	4310
	Leucine	5380		Acide aspartique	5990
	Lysine	2960		Cystine*	590
	Methionine*	1170		Acide Glutamique	9130
	Phenylalanine	2750		Glycine Proline	3130
	Threonine	2860		Proline	2380
	Tryptophane	1090		Serine	2760
	Valine	3940		Tyrosine	2500

* acide aminé indispensable qui ne peut être synthétisé *de novo* par l'organisme et doit donc être apporté par l'alimentation.

1.2.2. Lipides

Selon les publications la valeur du poids sec en lipides totaux varient de 5,6 à 11% en poids [42, 43 et 44] et même 14,3 % au maximum [45] Cette fraction lipidique se caractérise par un bon équilibre acides gras saturés/acides gras polyinsaturés [19].

La spiruline est riche en acides gras insaturés gamma-linoléique de forme cis, seule forme biologiquement active. Ce sont des lipides essentiels non synthétisés par les animaux, nécessaires à la croissance normale, au développement de la peau, à la digestion, à la lactation et au transport du cholestérol. L'oxydation des lipides insaturés est inhibée par la vitamine K (tocophérol) que l'on trouve aussi dans la spiruline [38]

La présence d'acide gamma-linolénique, (18:3) oméga-9 est à souligner du fait de sa rareté dans les aliments courants et de sa haute valeur alimentaire présumée [45].

Notons aussi une assez forte proportion d'acide palmitique (16:0), de 25 à 60% (Tableau IV) selon les publications [38]. Il semble bien établi que le contenu en acide gras de la spiruline puisse être facilement modifié suivant les conditions de

culture [46].

Des acides gras en C20 et C17 sont présents en petites quantités. Dans l'étude de Maslova et *al.* en 2004 [38]. , ces acides gras ont souvent été négligés [43].

Tableau 1.4: Profil typique des acides gras de la spiruline [38].

Acides gras	Teneur en (%)
Palmitique (16:0)	25-60%
Palmitoléique (16:1) oméga-9	0,5-10%
Stéarique (18:0)	0,5-2%
Oléique (18:1) oméga-6	5-16%
Linoléique (18:2) oméga-6	10-30%
Gamma-linolénique (18:3) oméga-6	8-40%
Alpha-linolénique (18:3) oméga-3	Absent

1.2.3. Glucides

Les glucides constituent 15 à 25 % de la matière sèche des spirulines [38].

L'essentiel des glucides assimilables est constitué de polymères tels que des glucosannes aminés (1,9% du poids sec) et des rhamnosannes aminés (9,7%) ou encore de glycogène (0,5%). 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 (Tableau 1.5) [47]. 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 matière sèche) [48,49]. Cette teneur en inositol est environ huit fois celle de la viande de bœuf et plusieurs centaines de fois celle des végétaux qui en sont les plus riches [47]

Un polysaccharide spécifique de la spiruline, le spirulan, a été isolé et partiellement caractérisé [50] 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 [51,52]

Tableau 1.5: Les glucides de la spiruline [53]

Les glucides	Teneur en (%)
Rhamnose	9,0
Cyclitols	2,5
Glucosamine	2,0
Glucane	1,5
Glycogène	0,5
Acide sialique et autres	0,5

1.2.4. Vitamines

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) [54]

Concernant la vitamine B9, [53] 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*.

On trouve 13 mg/kg de tocophérol dans la spiruline sèche, il est présent en quantité comparable à celle des germes de blé et couvre près de 50 % des besoins de l'enfant pour une dose quotidienne de 10 g de spiruline. Les propriétés anti-oxydantes du tocophérol pour les acides gras insaturés pourraient expliquer la bonne conservation de ces derniers dans la spiruline séchée [53]

Il faut toutefois 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. Les résultats sont variables selon les souches de spiruline et les techniques de dosages utilisées. L'apport de seulement quelques grammes de spiruline permettrait de couvrir la totalité des besoins en vitamine B12 [53]

La spiruline ne couvre pas la totalité des besoins, elle dispose d'une balance vitaminique optimale pour la plupart des complexes en vitamine B, notamment pour une consommation chez le jeune enfant. Seules les vitamines B5 et B8 sont absentes chez la spiruline [53]

Il faut noter que la biomasse poussant en printemps-été montre une proportion en vitamines plus élevée. Ceci dépendant essentiellement des conditions d'ensoleillement [53]

Tableau 1.6 : Teneur en vitamines en µg/g de matière sèche de spiruline d'après [62] complété par d'autres références pour la vitamine E

Vitamine	Teneur	Vitamine	Teneur
Vitamines hydrosolubles (µg/g)		Vitamines liposolubles	
B1 (thiamine)	34-50	Provitamine A (-carotène)	700-1700
B2 (riboflavine)	30-46	Cryptoxanthine	100
B3 (niacine) Vitamine E	130	(alpha-tocophérol)	120** 50-190***
B5 (pantothénate)	4,6-25		
B6 (pyridoxine)	5-8		
B8 (biotine)	0,05		
B9 (folate)	0,5		
B12 (cobalamine)	0.10-0.34*		
C (acide ascorbique)	Traces		

1.2.5. Minéraux et oligo-éléments

Les minéraux spécialement intéressants chez la spiruline sont le calcium, le fer, le magnésium, le phosphore et le potassium [53] La Spiruline constitue une source importante de fer (20 fois plus élevée que le germe de blé) [53]

Le calcium, le phosphore et le 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 et en font une source intéressante [53]

Naturellement, la spiruline en contient très peu de zinc mais un enrichissement à la culture peut en faire une source intéressante. Les doses de sélénium trouvées naturellement dans la spiruline sont bien en dessous des doses recommandées et d'une très bonne biodisponibilité. Egalement, la spiruline représente une source naturelle très intéressante en magnésium, entre autre par sa teneur en chlorophylle (Tableau1.7) [53]

Tableau1.7 :Teneurs en minéraux et oligo-éléments de la spiruline [53]

Minéraux	Teneur (par 100g)	Doses requises (mg/jour) (NRC, 1980)
Calcium	468 mg	1200
Fer	87,4 mg	18
Phosphore	961 mg	1000
Magnésium	319 mg	25-350
Zinc	1,45 mg	15
Selenium	25,5 µg	0,05
Cuivre	0,47 mg	1,5-3
Manganese	3,26 mg	5
Chrome	<400 µg	0,5-2
Potassium	1,66 mg	3500
Sodium	641 mg	500

1.2.6. Composition en acides nucléiques

La spiruline renferme 4,2 à 6% d'acides nucléiques totaux (30% ADN et 70% ARN) dans sa matière sèche [73]. La richesse en acides nucléiques d'un aliment peut induire à terme une production importante d'acide urique par dégradation biochimique des purines.

L'ARN en produit deux fois plus que l'ADN. L'excès de cet acide peut entraîner à la longue des calculs rénaux et des crises de gouttes. Il est admis que la dose maximale d'acides nucléiques tolérables à long terme est de 4g/j pour un adulte. Il

faudrait consommer 80 g de spiruline sèche pour atteindre cette dose (la quantité de spiruline usuellement consommée ne dépasse pas 10 g de matière sèche) [37]

1.2.7. Pigments

La spiruline contient des chlorophylles dont la chlorophylle *a* (typique des végétaux), des caroténoïdes dont le principal est le β -carotène et des phycobiliprotéines telles la phycocyanine et la phycoérythrine. Les teneurs en pigments de *Spirulina platensis* apparaissent dans le Tableau 1.8.

Tableau1.8: Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10 g de matière sèche de *Spirulina platensis* [80].

Pigments	Teneur en mg/ 10 g
Chlorophylles totales	115
Chlorophylle <i>a</i>	61- 75
Caroténoïdes (orange)	37
Phycocyanine (bleu)	1500 – 2000
Phycoérythrine (rouge)	2900 – 10000

Le Tableau1.8 montre que la cyanobactérie *Spirulina platensis* est une excellente source de phycocyanine. D'après VONSHAK (1997) [95], la fraction protéique pourrait contenir jusqu'à 20 % de phycocyanine. La phycocyanine aurait une activité antitumorale, elle induirait un mécanisme d'apoptose (autodestruction) des cellules cancéreuses [96]. Elle aurait aussi une activité antioxydante [97, 98]. Elle aurait également un rôle d'hépatoprotection [37]. En outre, la forte teneur en ce pigment pourrait être d'un grand intérêt industriel.

D'après l'étude de FEDKOVIC (1993) [99] les antioxydants comme le β -carotène contenus dans la spiruline permettraient d'inhiber à la fois l'effet mutagène et l'effet régulateur induit par les radicaux libres, préservant ainsi nos tissus [37]. Le carotène est d'autre part un précurseur de la vitamine A.

1.3. Activités thérapeutiques de la spiruline

Les recherches sur les activités thérapeutiques de la spiruline n'ont vraiment débutées qu'au début des années 90, lorsque ont été isolées des molécules complexes dotées de propriétés thérapeutiques diverses. Ces molécules, qui présentent le plus d'intérêt, sont la phycocyanine, un pigment protéique et le calcium-spirulan, un polysaccharide sulfate [53]

Dans les pays développés, et depuis peu dans quelques régions d'Afrique, la Spiruline est consommée comme complément alimentaire « bénéfique à la santé » [55]

La spiruline semble être un complément thérapeutique idéal. De la composition chimique de la spiruline et sa valeur nutritionnelle exceptionnelle découlent de multiples applications thérapeutiques dont les plus importantes sont:

Le traitement des carences nutritionnelles: malnutrition protéine énergétique sévère et carence en micronutriments (anémie ferriprive, anémie pernicieuse et hypovitaminose A);

Une activité antivirale en empêchant la pénétration des virus dans la cellule humaine et donc leur réplique. Cet atout pourrait être exploité dans la lutte contre l'infection au VIH en abaissant la charge virale chez les personnes infectées et leur permettant de vivre plus longtemps et de mener une vie plus normale. Par ailleurs la transmission du virus d'une mère séropositive à son enfant pourrait être inhibée [56,57, 58,59]

Le renforcement du système immunitaire est une autre opportunité pour la lutte contre le VIH/SIDA, les maladies opportunistes ainsi que les cancers [56, 57, 60,61]

- ✓ La prévention contre les radiations radioactives;
- ✓ Des effets positifs sur les taux de cholestérol sanguin [62]
- ✓ Effet hypo-glycémiant a été prouvé [63]
- ✓ Un effet protecteur du rein;
- ✓ Le traitement de certaines affections dermatologiques, etc...

1.4. Spiruline et malnutrition

La composition de la spiruline, montre clairement qu'elle est un aliment protéinique riche apportant une grande quantité de vitamines, minéraux et acides gras insaturés

tout ceci pour une faible valeur calorique. Traditionnellement elle a été consommée en association avec des céréales ce qui en faisait un aliment approprié pour traiter la malnutrition protéique et énergétique [54]

Se servant de cet exemple, une des solutions pour lutter contre la malnutrition peut résider dans une simple capsule contenant un ou plusieurs grammes de spiruline administrée en complément à l'alimentation de l'enfant. Pour exemple, un programme de supplémentation à l'aide de capsules de vitamines A existe déjà. Ne coûtant que quelques centimes et administrée pendant une campagne de vaccination, ce programme sauve à l'heure actuelle 350000 vies par an en aidant à renforcer le système immunitaire. D'autres exemples d'enrichissement d'aliments de base avec des nutriments clés comme le fer et l'iode ont fait leurs preuves pour protéger des millions d'enfants contre les carences et les retards du développement. Il peut en être de même avec la spiruline d'autant plus que son acceptation par les humains peut être augmentée en l'utilisant mélangée avec de la nourriture sachant qu'ajoutée à une dose de 1g par portion, elle n'altère pas le goût [7]

1.5. Toxicologie

1.5.1. Métaux lourds

Dans plusieurs cas, les toxiques tels que le plomb, le mercure et l'arsenic [64,49] ainsi que le fluor [64] ont été donnés comme non détectables; pourtant, une étude plus détaillée montre que dans le cas de spiruline récoltée en milieu naturel, les teneurs en arsenic et surtout en fluorures peuvent être relativement élevées. Ces particularités proviennent certainement des compositions géologiques des régions concernées, il reste toutefois à déterminer les facteurs d'accumulations de ces éléments en milieux contaminés.

A l'inverse, les spirulines cultivées en milieu artificiel présentent des valeurs en métaux lourds très faibles. La toxicité des spirulines d'élevage semble de ce fait inexistante. Notons que des essais menés sur des rats nourris avec de la spiruline naturelle comme seule source de protéines, n'ont montré aucun effet toxique de ces minéraux [65]

1.5.2. Cyanotoxines

Depuis longtemps certaines cyanobactéries produisent de puissantes toxines agissant sur le système nerveux (l'anatoxine-A de *Anabaena flos-aquae*, par exemple) ou sur le foie (la microcystine de *Microcystis aeruginosa*, par exemple). Aucune contamination par de tels microorganismes n'a été, à notre connaissance, mise en évidence dans le cas de spiruline cultivée, ce qui semble lié à son milieu de culture très particulier. Bien que le problème ne soit semble-t-il jamais apparu dans une culture artificielle [9]

Les résultats de travaux de recherche effectués principalement en Asie et sur le continent américain montrent que les souches de spiruline étudiées jusqu'à maintenant ne possèdent pas les gènes qui assurent la synthèse des cyanotoxines. A notre connaissance, aucun cas de toxicité n'a été rapporté concernant l'utilisation de spiruline (<10g/jour), elle ne possède pas les gènes qui assurent la synthèse des cyanotoxines connues jusqu'à présent [66]

1.5.3. Risques de surdoses

Il n'existe à ce jour aucun cas de surdose de spiruline documenté dans la littérature scientifique. Des consommateurs de plus de 10 g/jour pendant plusieurs années d'affilé ne rapportent aucuns effets négatifs. En ce qui concerne le risque aigu, là non-plus aucune donnée ne vient fixer de limite : des consommations anecdotiques de plus de 100 g/ jour n'ont semble-t-il eu aucune conséquence particulière. Seul indice manifeste d'une forte consommation de spiruline, l'accumulation bénigne de caroténoïdes dans la peau y provoque une légère coloration orangée (particulièrement visible dans la paume des mains). Cet effet « pilule-à-bronzer » est parfaitement réversible [47]

Outre, le produit final de dégradation biochimique des bases puriques adénine et guanine est l'acide urique qui peut s'accumuler dans le sang et être à l'origine de certaines pathologies (calculs rénaux, crise de goutte...). Il est alors intéressant de connaître la teneur en acides nucléiques d'un aliment pour évaluer tout risque d'hyper-uricémie due à sa consommation. Dans le cas de la spiruline, les acides nucléiques totaux représentent 4,2 à 6 % du poids sec de l'algue, et ce faible taux exclut tout risque d'excès d'acide urique chez les consommateurs réguliers de spiruline à la dose journalière recommandée à titre de complément alimentaire [57]

1.6. Potentialités et utilisation de la spiruline

1.6.1. 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 [68]

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 [69,68,70,71], cela a été démontré au Mexique, où une boisson formée par 50% d'une suspension de la spiruline («lait vert») a été donnée, sans aucuns problèmes aux bébés[72],ou lorsque des formulations basées sur des aliments traditionnels sont mises à contribution [73] .

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) [37] .

1.6.2. Spiruline, un aliment fonctionnel

Depuis ce nouveau millénaire, il y a un intérêt croissant pour le concept d'aliment fonctionnel. Les aliments dits fonctionnels doivent apporter des bénéfices physiologiques pour la santé autre que des apports nutritionnels ou énergétiques. Pour comprendre ce qu'est précisément un aliment fonctionnel, il est nécessaire de connaître tout d'abord la définition d'un aliment [54]

Un aliment est défini selon quatre valeurs : une valeur énergétique, une valeur nutritionnelle, une valeur sensorielle et une valeur fonctionnelle [74]

1.7. Valeur nutritionnelle

La valeur nutritionnelle est une condition nécessaire d'un aliment. Tout aliment a un rôle nutritif à remplir. Il doit pour cela apporter les substances indispensables que l'organisme ne peut pas synthétiser tel que les acides aminés et acides gras indispensables, les oligoéléments, les vitamines et les minéraux. La composition nutritionnelle de la spiruline répond donc parfaitement à ce critère [54]

1.8. Valeur énergétique

Un aliment se doit d'apporter de l'énergie à l'organisme sous forme de calories. Cette énergie est apportée principalement par les lipides, les protéides et les glucides qui fournissent respectivement 9 kcal, 4kcal et 4kcal (1 kilocalorie (kcal) = 4,18 kilojoules (kJ)).

La composition nutritionnelle de la spiruline, riche en protéines, répond là aussi parfaitement à ce critère [54,47.37].

1.9. Valeur sensorielle

Chaque aliment doit convenir à nos 5 sens [54]

- La vue par son aspect esthétique, il doit plaire à nos yeux avant de plaire à notre bouche.
- Le toucher par sa texture. Une viande trop dure semblera moins appétissante qu'une viande tendre et juteuse.
- L'ouïe, le croustillant du pain, le croquant de la pomme pendant la mastication sont des éléments importants qui augmentent l'envie de manger.
- L'odorat, c'est avec le goût certainement le sens le plus important, une bonne odeur ouvre l'appétit et excite les papilles gustatives. L'odorat, grâce au mécanisme de retro-olfaction, permet l'appréciation des saveurs des aliments.
- Le goût, sans nul doute le sens le plus important pour apprécier ou non un aliment. Bien que chaque individu ait sa propre perception du goût et que

selon les cultures cette perception peut changer, des constantes existent comme l'amertume, le salé, le sucré, le piquant. Le goût est très culturel et est très dépendant des habitudes alimentaires, c'est un sens qui s'apprend et qui évolue au cours de la vie.

Sur ce point, la spiruline ne répond pas forcément à ces critères. En effet, la vue de l'algue n'a rien d'appétissant ou du moins dans la culture occidentale. Il peut en être autrement dans les cultures africaines plus habituées à des nourritures à base d'ingrédients naturels, non transformés. La texture de la spiruline séchée ressemble à celles des herbes de Provence mais sans leurs odeurs caractéristiques. Par contre la texture de la spiruline mouillée, ressemblant à une bouillie verte et n'a rien d'attirant non plus.

De même le goût et l'odeur de l'algue séchée sont fades et ne risquent pas d'attirer le consommateur occidental.

La spiruline n'est donc pas un aliment qui excitera les sens du consommateur des pays développés.

1.10. Valeur fonctionnelle

Tout aliment est susceptible d'avoir une valeur fonctionnelle lorsqu'il a la propriété d'interférer sur les fonctions vitales de l'organisme et de moduler l'état de santé et au bien être d'un individu [74, 37,54]

La fonctionnalité d'un aliment est apportée par une ou plusieurs molécules identifiables et présentant des activités spécifiques mesurables. Ces molécules ne sont pas forcément des molécules indispensables au même titre que certains acides aminés. Elles n'entrent pas non plus en jeu pour la régulation du métabolisme énergétique. La fonctionnalité d'un aliment est innée contrairement à l'aliment fonctionnel ou l'action sur la fonction cible est acquise par transformation (ajout de composant, concentration...) [71.74.37]

Sur ce dernier point, la encore la spiruline répond parfaitement à ce critère avec la présence innée de molécules actives telles que la phycocyanine et le calcium-spirulan. Ces molécules ayant démontrées tout leur potentiel fonctionnel sur des fonctions cibles de l'organisme [54,74]

En définitive, la spiruline peut être considérée comme un aliment fonctionnel malgré sa faible valeur sensorielle, valeur qui pourra être compensée par un mélange avec un autre aliment plus appétent [74]

Pour le moment, les produits à base de spiruline sont encore peu nombreux, mais à l'heure actuelle ou fleurit le concept de la nutrition-santé, il est certain que le

marché des microalgues alimentaires, avec comme chefs de files *Spirulina platensis* et *Chlorella vulgaris*, est à l'aube d'une croissance mondiale importante. Dans les années à venir, nos assiettes risquent fortement d'être remplies de microalgues alimentaires sous une forme ou sous une autre. *Spirulina platensis* apparaît comme l'aliment santé de demain [74,54]

1.11. Formulations alimentaires

Certaines propriétés physiques de la spiruline ont été déterminées afin d'en faciliter l'usage dans l'industrie alimentaire [75]

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 [76, 77,78] L'introduction de spiruline dans des aliments pour enfants a également fait l'objet de recherches [78] et depuis quelques années, une série de formulations de farines de sevrage contenant de la spiruline sont apparues dans divers pays [79]

Parmi les nombreuses recettes développées en vue d'intégrer la spiruline aux repas quotidiens des adultes mais surtout des enfants, on peut relever l'utilisation en Inde de biscuits, bonbons et boissons à la spiruline.

Dans les pays riches, l'industrie alimentaire propose maintenant de nombreux produits enrichis à la spiruline (nouilles, soupes instantanées, barres énergétiques, etc.). Mais l'essentiel de la spiruline y est encore consommé sous forme de comprimés, de poudre ou de granulés de spiruline. Notons toutefois que la spiruline commence à faire l'objet de recherches culinaires et qu'un recueil de recettes à base de spiruline a été publié [80]

On trouve actuellement de très nombreux brevets portant sur des produits alimentaires à bases de spiruline, de la crème glacée aux boissons fermentées en

passant par les yaourts et les bonbons. [81] Doumandji et *al.* (2012) dans leurs brevet ont proposé l'incorporation de la spiruline dans l'alimentation quotidienne de la population algérienne, il s'agit d'un couscous artisanal. Le couscous enrichi par la spiruline a présenté une hausse significative du taux en protéines d'environ 1%. Le test de dégustation effectué sur les différents échantillons du couscous a révélé une appréciation qui n'a pas été influencé par la couleur verte ni l'odeur légèrement accentuée de la spiruline.

Des essais de formulation d'un jus bio à base du sirop de dattes et de l'extrait aqueux de spiruline ont été effectués par [82] Tandis que, [83] a essayé de formuler un fromage frais enrichi par la spiruline, un aspect meilleur et une qualité bromatologique élevée a été obtenue lors de l'ajout de la spiruline dans le caillé, il a été signalé aussi lors de cette étude l'effet de la spiruline sur la flore lactique du fromage frais.

1.12. Spiruline à usage animal

La spiruline est utilisée comme complément alimentaire pour les animaux [84, 85,37] pour plusieurs raisons.

➤ Favoriser la croissance et la fertilité

Des études sur les poissons d'aquarium tels le *Xiphophorus helleri* [86] et la crevette *Fenneropenaeus chinensis* [87] ont montré les effets bénéfiques de *Spirulina platensis*. Ainsi l'influence bénéfique sur la croissance, de l'incorporation de Spiruline dans la nourriture des poulets de chair a été étudiée par [88]

➤ Renforcer les défenses immunitaires

En aquaculture, la spiruline est ajoutée aux granulés dans la nourriture des poissons d'élevage, plus souvent soumis à des infections virales et/ou bactériennes que les poissons sauvages. [89], ont mis en évidence l'effet immunostimulant de *Spirulina platensis* chez la carpe *Cyprinus carpio*. Chez les chiens et les chats, la spiruline permet d'améliorer l'état de la peau et des poils et d'éviter les carences en calcium. Elle prévient les infections respiratoires chez les lapins [37]

➤ Pour augmenter la pigmentation

La spiruline est utilisée pour ses pigments :

- En aquariophilie pour accentuer la coloration des poissons d'ornement [86]
- En aquaculture pour améliorer la pigmentation des crevettes et des poissons [91]
- En agroalimentaire pour rendre les œufs et la chair de poulet plus attrayants au consommateur par les caroténoïdes qu'elle contient [92]

➤ Pour améliorer les performances des animaux

Elle est vendue comme additif à la nutrition des taureaux reproducteurs, Elle donne une robe plus brillante pour les chevaux et exerce une action énergisante [37]

1.13. Utilisation de la spiruline en industrie cosmétique

En cosmétique, la spiruline est utilisée dans les masques cryogéniques et crèmes anti-âge, par son action sur le renouvellement cellulaire et la tonicité des tissus [92]

La phycocyanine extraite de la spiruline est aussi utilisée dans le domaine de la cosmétologie, elle rentre ainsi dans la composition de rouges à lèvres. Ainsi, en utilisant de la spiruline en complément d'une alimentation équilibrée, la peau devient plus nette et fraîche, les cheveux retrouvent vigueur et brillance [37,93]

De façon un peu plus détaillée, sa teneur en vitamine A permet un bronzage plus rapide et plus uniforme au soleil. Sa teneur en vitamine B5 permet à la peau de conserver son hydratation et sa souplesse ; elle aide aussi à renforcer les cheveux contre les agressions chimiques et mécaniques. La vitamine B8, en diminuant l'excrétion de sébum, réduit la principale cause de chute des cheveux [93]

CHAPITRE 2

GENERALITE SUR LE BLE DUR ET LE COUSCOUS

2.1. Caractéristique générale de blé dur

Le blé est une espèce annuelle qui fait partie de la classe botanique des monocotylédones et de la famille des Graminées. C'est une espèce autogame de jours longs. C'est la première céréale cultivé et largement consommée en Algérie et dans le monde. [94]

2.2 Morphologie et histologie

Le grain du blé est un caryopse. C'est un fruit sec. Il est de couleurs blanchâtre à brunâtre selon l'espèce, blé dur ou blé tendre, et selon les variétés. [94] Histologiquement, le grain de blé dur est formé de trois types de tissu : le germe (3%), les enveloppes (13-16% du grain) et l'albumen (80-85% du grain) .[94,95]

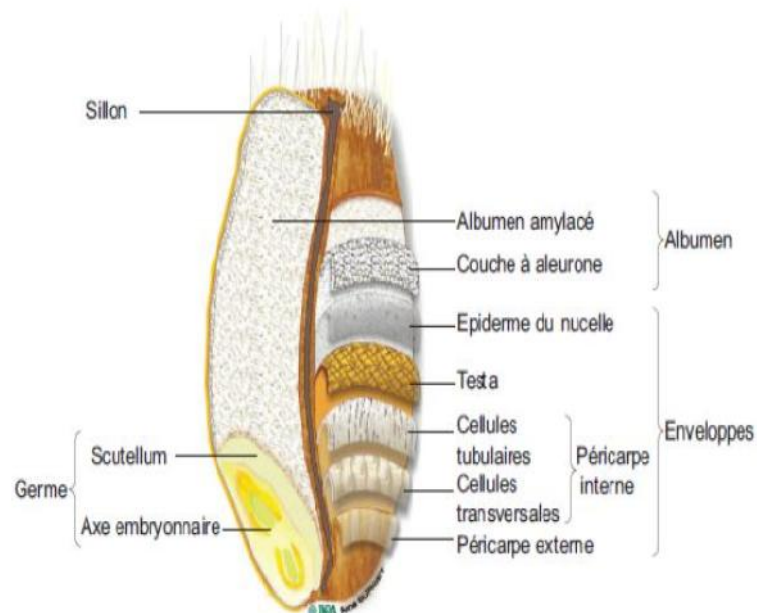


Figure 2.3 : Structure d'un grain de blé. [96].

2.2.1. Le germe

Souvent appelé embryon, c'est lui qui donne naissance aux racines et à la tige lorsque le grain est planté en terre, dans de bonnes conditions de chaleur et d'humidité. C'est la partie la plus nutritive du grain. Certains nutritionnistes en font le meilleurs des aliments, allant jusqu'à parler à son propos d'aliment miracle. [97]

Le germe représente 3% du poids du grain et constitue la future plante. Il forme de l'embryon et du scutellum, qui entoure l'embryon, le protège et joue un rôle nourricier grâce à sa richesse en protéines, matières grasses et vitamines. [98]

2.2.2. Les enveloppes

Les enveloppes du grain sont composées de cinq tissus superposés, chacun de ces tissus possède une épaisseur et une nature différente. [98, 97,96] De la surface externe vers le centre du grain se trouvent successivement le péricarpe externe (épicarpe) et le péricarpe interne constitué par le mésocarpe et l'endocarpe. Viennent ensuite la testa et l'épiderme du nucelle (ou couche hyaline). [98,99] Ces tissus sont essentiellement constitués de cellules vides dont les parois sont riches en fibres et en composés phénoliques. [100]

2.2.3. Albumen ou amande

L'albumen ou amande farineuse, représente 80% du poids du grain et sa partie inférieure est déterminée par le germe. C'est une substance blanche friable, constitué d'un ensemble de grains d'amidon entourés par un réseau de gluten (nature protéique) mais elle est pauvre en minéraux. [98]. Se distingue par de longues cellules transversales et d'une couche de cellules tubulaires, qui transportent l'humidité des grains. [101]

2.3. Composition biochimique du grain de blé

La composition du grain de blé est très complexe. Elle dépend de l'espèce et de la variété de blé mais, également du climat, des méthodes de cultures, et des conditions de stockage. [102,103]

2.3.1. Eau

Le grain de blé constitué de 13.5% d'eau. Cette faible teneur lui permet d'être

stocké lentement en évitant ainsi le développement des micro-organismes en particulier de moisissures. [104]

2.3.2. Glucides :

L'amidon représente la majeure partie des glucides complexes répartis en amylose et amylopectine, c'est l'un des polymères fonctionnels les plus importants des aliments en raison de son pouvoir gélifiant, viscosifiant et fixateur d'eau.[104] retrouvé essentiellement dans l'amande à l'opposé de l'écorce et le germe qui sont peu riche en amidon. Le glucose, fructose, saccharose et du raffinose sont localisés dans le germe et l'assise protéique de l'écorce. [98,104]

2.3.3 Protéines :

Ce sont des enchainements d'acides aminés leurs principales fonctions alimentaires sont :

- Des fonctions nutritionnelles: par l'apport d'acides aminés essentiels et de peptides à activité biologique.
 - Des fonctions organoleptiques : par leurs contribution à la couleur des aliments, la texture (capacité de rétention d'eau), et à la saveur.[105]
 - Dans le grain de blé il existe 2 types de protéines : les protéines solubles (albumines et globulines) et les protéines insolubles (prolamine ou glianine et glutéline).

Les gluténines et gliadines constituent 80 à 90% des protéines totales du blé et forment le gluten qui est responsable de l'élasticité de la pâte.

2.3.4 Lipides :

Les lipides jouent un rôle important dans l'alimentation et dans l'agroalimentaire, ils ont :

- Un rôle nutritionnel par l'apport d'énergie, et d'acides gras essentiels.
 - Un rôle organoleptique par la contribution à la texture des aliments en tant que précurseurs de molécules aromatiques.[105]
 - Ils sont présents dans le grain de blé en faible quantité, essentiellement localisés dans le germe et l'assise protéique. Lors du pétrissage de la pâte ces lipides vont se lier aux protéines et glucides et

permettent la rétention d'eau, l'extensibilité et l'élasticité de la pâte

2.3.5. Matières minérales

Les éléments minéraux n'ont pas d'influence sur le rendement meunier et sur la valeur boulangère. Par contre, ils ont un rôle important en nutrition.

2.3.6. Vitamines

Les vitamines sont de petites molécules indispensables à l'homme pour nombreuses activités métaboliques fondamentales et dont la carence conduit à des syndromes spécifiques. [105]

Vitamines hydrosolubles: diverses vitamines surtout du groupe B (B1, B2, B6) sont présents dans les grains mais à des concentrations faibles. [106]
Vitamines liposolubles : la seule vitamine liposoluble présente dans le grain de blé est la vitamine E qui se trouve essentiellement dans le germe.

Les produits céréaliers sont consommés après avoir subi des cuissons à températures souvent élevées ce qui risque de réduire l'intérêt vitaminique des céréales.

2.3.7. Fibres alimentaire végétales (FAV)

Se sont des cellules végétales, encore appelées « indigestible glucidique » résistant à l'hydrolyse par les enzymes alimentaires de l'homme. [107]

2.3.8 Enzymes :

Les enzymes localisées dans le grain de blé sont : la carboxylase, lipase, lipoxygénase, alpha-amylase, beta-amylase et protéase. L'activité la plus importante sur le plan technologique et celle qui affecte l'amidon, les lipides et les protéines. [107]

2.4. Semoule

2.4.1 Technologie semoulière

Selon. Godon et Willm, (1998) [98], l'objectif de la première transformation de blé dur est d'isoler l'albumen des parties périphériques (à savoir les enveloppes, la couche à aleurone et le germe). C'est une opération de fragmentation et de séparation.

Ce procédé s'articule sur les phases suivantes :

❖ Le pré-nettoyage

Le blé pesé est envoyé vers le séparateur aspirateur, cet appareil a pour but d'enlever les impuretés de blé de taille notamment différentiels, les méthodes de séparation des impuretés sont résumées dans.

Le séparateur aspirateur est constitué par 3 tamis légèrement inclinés est munis d'un mouvement de va et vient avec forte aspiration permettent d'enlever les poussières.

- 1^{er} tamis : A grosses perforations, laisse passer plus rapidement le blé et retient les impuretés les plus grosses que lui.
- 2^{ème} tamis : A perforations plus étroites, laisse encore traverser le blé et retient les déchets légèrement plus volumineux que celles qui traversent le premier tamis.
- 3^{ème} tamis : Dont les perforations sont inférieures à la taille du blé retenu, le rôle de celui-ci est de laisser passer les petites impuretés et l'aspiration de la poussière présente dans le blé. .[104]

❖ Le nettoyage

Selon. Feillet, (2000) [104], cette opération est principale car elle consiste à éliminer complètement tous les grains étrangers (cailloux, pierres..), ce qui risque d'affecter l'apparence du produit fini (la semoule), il y aura donc lieu de prendre certaines précautions et adapter un grand soin lors des opérations de calibrage de la semoule

❖ Le triage

Le blé passe par des trieurs à surfaces inclinées pour séparer du blé les grains ronds et les pierres. Le blé est amené sur une surface vibrante inclinée afin d'enlever les impuretés du blé qui ont le même diamètre que celui-ci mais dont la longueur est différente. .[95]

- Soit plus courtes, telle que les grains ronds,... etc.
- Soit plus large, telle que les grains d'avoine, d'orge,... etc. .[95,104]

❖ Brossage

Après l'étape du triage, le blé subit une opération du brossage, dont le but est enlever la poussière qui se trouve dans le sillon, cette opération est réalisée par la brosse à blé, dans cette machine, le grain est roulé entre une paroi métallique, généralement en tôle perforée, et une brosse qui est fixée sur un arbre tournant. La poussière est détachée du grain et aspirée à travers la tôle au moyen d'une aspiration qui refoule l'air dans un cyclone ou un filtre. .[109,104]

❖ Lavage I

Le nettoyage du blé souvent complété par le lavage, opération qui peut être considérée également comme la première phase de la préparation à la mouture, celle-ci consiste généralement à additionner une légère quantité d'eau, il a pour but d'enlever dans le sec de laveuse est brassé dans l'eau, les pierres et le sable lord tombent au font et sont évacués, les grains de blé creux flottent et sont également évacuées. .[1,109]

2.4.2. Préparation du blé à la mouture (le mouillage)

Selon Godon (1991) [102], le blé arrive au moulin avec une teneur en eau faible et ne se trouve pas de ce fait dans les conditions voulues, donc il sera nécessaire de procéder à la préparation du grain et de se livrer à une double opération qui comprendra ; une addition d'eau ou mouillage suivi d'un temps de repos ou conditionnement.

Le mouillage est une humidification du grain, au départ le grain de blé possède une teneur en eau égale à 11 ou 12%. Le grain est humidifié jusqu'à une humidité de 16.5% même à 17%. Cette action se fait simplement par addition d'une certaine

quantité d'eau au blé (eau froide parfois chaude ou en vapeur).

2.4.3 Mouture

La structure anatomique du grain de blé présente la particularité que l'ensemble des couches histologiques se replis à l'intérieur de grain pour constituer le sillon se qui conduit au développement d'un procédé original de première transformation du blé que l'on appel procédé de mouture, impliquant les même opérations unitaires ; après nettoyage et préparation des grains quelque soit le type de blé considéré.[106]

La mouture est l'opération centrale de la transformation du blé en semoule, est réalisée par la succession des opérations suivantes :

❖ Broyage

Le broyage constitue une des étapes déterminantes de la mouture du blé dur, comme dans le cas du blé tendre, il a pour fonction de séparer l'amande des enveloppes. Mais ici, cette séparation doit être réalisée avec une production minimale de produits finis.

Ce broyage est réalisé par une série d'appareils à cylindre appelés «broyeur» doté de pairs de rouleaux cannelés et dont chaque passage est désigné par un numéro l'identifie : B1, B2, B3 .[104]

❖ Blutage ou tamisage

Consiste à classer les produits de mouture : gros broyat, grosse semoule, moyenne, fine,... etc. ce procédé est réalisé par une série de tamis renfermé dans des compartiments, chacun est réalisé individuellement et directement à chaque opération réalisée par chacun des appareils) cylindre. Chaque plansichter est identifié une par appellation : PB1, PB2, PB. [104]

❖ Sassage

Consiste à épurer toutes les semoules produites écrasement et classement en les débarrassant au maximum des particules de son qui s'y trouvent encore mélangées. Les «sasseurs» assurent cette opération, ils sont pourvus de tamis adéquats. . [104]

❖ Convertissage

S'effectue au niveau des minoteries, à réduire toutes les semoules propres et épurées pour leur transformation en farine. Cette opération est réalisée par appareils) cylindres appelé «convertisseurs» dotés chacun da paires de rouleaux lisses et portant individuellement aussi un numéro d'identification tel que : C1, C2, C3,.[104,109]

❖ Désagrégage

Par des appareils à cylindre munis de très cannelures appelées «désagréateurs». Ils interviennent dans le traitement des semoules vêtues en éliminant les fragments de son qui adhèrent à l'amande. Les semoules étaient classés en fonction de la densité et de la granulométrie, les semoules refusées au niveau du sasseur sont appelées semoules vêtues (amande+ enveloppes) :

- Si l'amande prédomine : on parle de semoules vêtues.
- Si les enveloppes prédominent : on parle de refus. .[109]

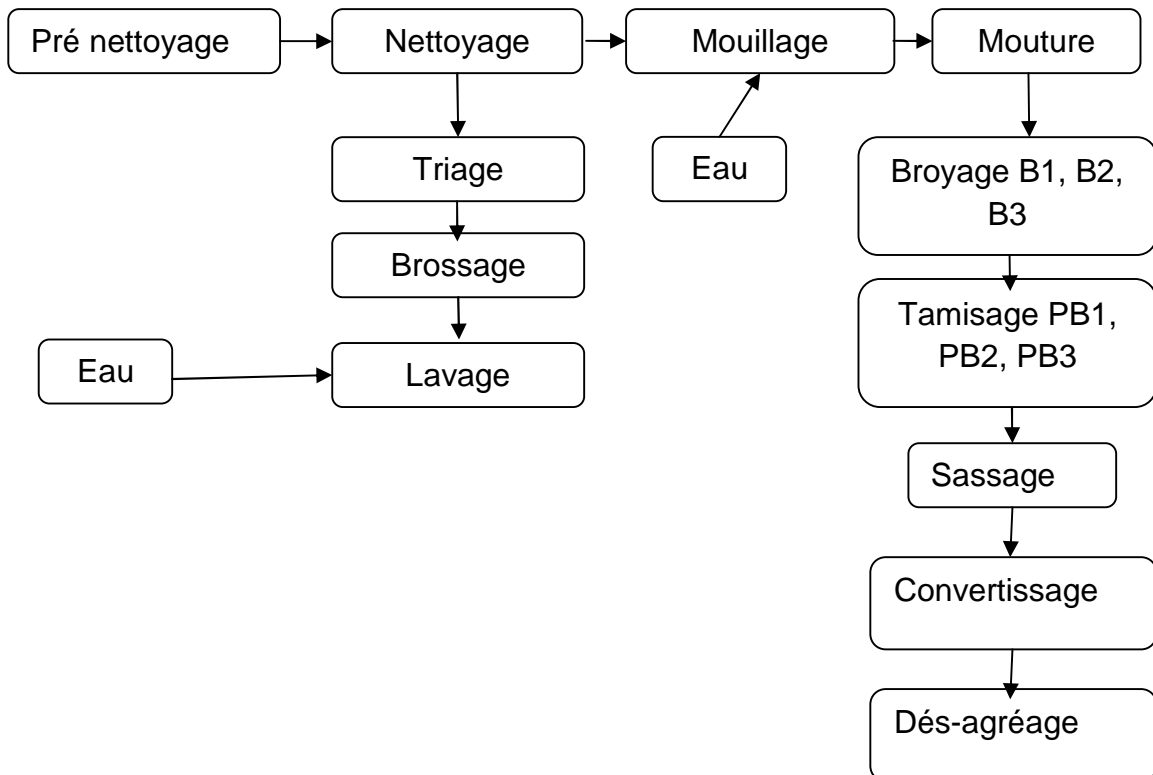


Figure 2.4: Diagramme du procédé de la première transformation de blé dur

2.5. Couscous

2.5.1 Semoule

La semoule constitue le produit fini de la première transformation du blé dur par le procédé de mouture. Elle est constituée des fragments de l'amande du grain aussi pour que possible dont la taille granulométrique est supérieure à 150µm. en fait, il n'existe pas un seul, mais de nombreux types de semoules qui sont définies principalement d'après leur granulométrie. [4,111,112]

Selon le [94] Codex (1991) [112], La semoule de blé dur est le produit obtenu à partir des grains de blé dur (*Triticum durum* Desf.) par procédés de mouture ou de broyage au cours desquels le son et le germe sont essentiellement éliminés, le reste étant broyé à un degré de finesse adéquat. La semoule complète de blé dur est préparée par procédé de broyage similaire, mais le son et une partie du germe sont préservés.

2.5.2. Qualité de la semoule

Pour la fabrication des pâtes alimentaires ou de couscous, on recherche des semoules pures non contaminées par le son ou la présence de moucheture avec une qualité protéique satisfaisante. Les caractéristiques de la qualité de semoule sont :

❖ Odeur

La semoule ne doit présenter aucune odeur particulière, car il existe des semoules présentant une odeur acide et un goût de rance à l'altération des lipides, ce qui influe sur la qualité du produit fini. [114]

❖ Granulation

Selon Godon et Willm (1998), [106] la granulation des semoules varie en fonction des marchés et des usages locaux. Dans les pays Maghreb et de moyen orient on utilise surtout des grosses semoules pour la fabrication du couscous.

❖ Coloration

La coloration est la somme d'une composante jaune que l'on souhaite élevée et d'une composante brune ou qui doit être faible.

- La composante jaune : dépend de la quantité des pigments caroténoïdes des semoules et des ozydases (lipozygénase).
- La composante brune : due à l'activité des enzymes perozydasiques ou polyphénilozydasique, toute action à diminuer l'activité de ces enzymes soit par la sélection de variété qui on possède que de faible quantité, soit par la mise en œuvre de technologie appropriée (bonne purification des semoules durant la mouture en particulier, température élevée en début de séchage) aura un effet bénéfique sur la coloration des produits finis. .[115]

❖ Elasticité

Les semoules très pures, provenant du centre de l'albumen, possèdent de bonnes propriétés rhéologiques (en particulier d'élasticité) mais ont tendance à se déliter si la cuisson se prolonge. Inversement les produits les plus périphériques fournissent des produits finis qui manquent d'élasticité mais qui peuvent conserver un remarquable état de surface même après cuisson. .[116]

2.5.3 Qualité de semoule destinée à la fabrication du couscous

Le couscous industriel est préparé à partir d'un mélange d'un tiers de grosse semoule (630 à 800 μ m) et deux tiers de fines semoules (250 à 630 μ m) .[117,118] Dans les recommandations du Codex alimentaires .[119] la semoule utilisée pour la fabrication du couscous doit être soit un mélange de 20 à 30% de semoule fine (130 à 183 μ m) et 70 à 80% de semoule grosse (475 à 700 μ m) ou une semoule dite «grosse moyenne» dont le grain a un diamètre compris entre 183 et 700 μ m.

Une enquête de. Derouiche, (2003[120]), montre que les ménagères algériennes choisissent leur semoule selon trois critères principalement : la couleur, la granulométrie et la pureté, la plupart des ménagères préfèrent l'utilisation d'une semoule moyenne.[5]

2.6. Définition du 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 berbères algéro-marocains : kabyle, chleuh. Les berbères sahariens présentent une forme légèrement différente : *keskesu* [4, 122,123]

Le couscous est le plat national de l'Algérie, c'est un produit composé de la semoule de blé dur (*Triticum durum*) dont les éléments sont agglomérés en ajoutant de l'eau potable et qui a été soumis à des traitements physiques tels que la cuisson et le séchage [112]

Selon Guezlane (1993) [94], le couscous de "bonne qualité" est un produit jaune ambré, d'une capacité d'absorption d'eau élevée, ses grains restent individualisés et fermes une fois hydratés. 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).

2.7. Composition et valeur nutritionnelle

A l'exception d'une déficience en certains acides aminés essentiels, tels que la lysine, le blé dur constitue une source saine et importante dans l'alimentation.

En plus d'une teneur importante en glucides (60%-69%), un apport moyen en protéines (07% -18%) et une faible teneur en lipides (1%- 2%) dont 70% sont sous forme d'acides gras insaturés (Tableau 2.9).

Il faut rappeler que le blé dur contient aussi pratiquement tous les minéraux dont 50% de phosphore et potassium, ainsi que les vitamines dont les plus importantes sont la thiamine, la riboflavine et la pp. Cependant la transformation du blé dur en semoule engendre la perte de plusieurs composantes contenues dans le germe et les enveloppes notamment les vitamines et les minéraux. [124]

Tableau 2.9: Composition comparée de 100g de couscous ou pâtes alimentaires et de quelques aliments. [124]

Caractéristiques	Couscous et pâtes		Œufs	Muscles de bœuf	Lait	Pain
	Crués	Cuites				
Eau	12,5	69	75	65	87	36
Calories	360	125	160	200	66	250
Protides(g)	11,5	4	14	20	3,3	7
Glucides(g)	74	26	0	0	4,7	5,5
Lipides(g)	1,5	0,5	15	15	3,6	2,0
Calcium (mg)	20	7	10	10	118	24
Fer (mg)	1,5	0, 5	2,6	2.6	0,1	0,7
Thiamine.(mg)	0,15	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05
Riboflavine (mg)	0,09	0,03	0,3	0,15	0,17	0,06
AC.Nicotinique(UI)	1,5	0,05	0,15	5	0,20	0,5
Vitamine A(UI)	0	0	-	-	-	-
Vitamine B (UI)	0	0	-	-	-	-

2.8. 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» [112]. 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 procédé d'industriel ou artisanale [117]

2.8.1 Procédé industriel

Selon Boudreau, Germain (1992) et Feillet (2000) [112, 104] 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 continue 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 des simples plansichters. 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

2.8.2 Procédé de fabrication du couscous artisanal

Le processus de fabrication du couscous artisanal diffère d'une région à une autre. Cependant les principales étapes de fabrication sont les mêmes :

❖ Malaxage

La semoule grosse est arrosée avec de petites quantités d'eau, malaxée avec les mains puis séchée avec de la semoule fine. L'opération est répétée jusqu'à l'obtention du diamètre souhaité. [125,126,127]

Le taux d'hydratation des semoules et la durée du malaxage agissent sur la qualité culinaire du couscous et sur le rendement de fabrication et facilitent l'opération du roulage. [128]

❖ Roulage

Une fois l'opération de malaxage achevée, le couscous obtenu est roulé par un mouvement de va et vient de la paume des mains afin d'assurer un bon mélange et favoriser l'absorption de l'eau. On continue le roulage tout en ajoutant la semoule fine jusqu'à l'agglomération de la semoule pour faire des particules grosses, homogènes et de forme régulière. [129,130]

Selon Yettou (1998) [131], le roulage est l'opération de mise en forme du couscous par agglomération des particules de semoules hydratées.

❖ Tamissage

Pour assurer l'homogénéité du couscous, deux tamisages sont effectués :

- Le premier tamisage vise à éliminer les gros grumeaux qui sont formés au moment de l'agglomération.
- Le second tamisage élimine les particules fines de semoule qui ne sont pas agglomérées et qui sont recyclées. Le taux de grumeaux dépend de la granulométrie de la semoule utilisée (Yousfi, 2002). [4]

❖ Précuisson

Le couscous ainsi tamisé est mis dans un couscoussier constitué de deux parties. Un récipient inférieur contenant de l'eau en ébullition surmonté par un autre récipient (couscoussier dont l'épaisseur est de 13cm) percé de nombreux trous pour faciliter le passage de la vapeur et dans lequel sont placés les produits à cuire. [128,131] Le temps nécessaire pour la pré-cuisson est égal à 10mn.

Selon Guezlane (1993) [115], la pré-cuisson constitue le traitement hygrothermique obligatoire que l'on impose au couscous juste après l'avoir mis en forme pour gélatiser l'amidon (intérêt nutritionnel) et éviter l'agglomération des particules de couscous au cours de la réhydratation.

❖ Séchage

Le séchage consiste à abaisser le taux d'humidité du couscous (30%) après sa Précuisson jusqu'à 12 - 15% en fin de séchage, de manière à stabiliser le produit fini et à lui assurer une meilleure conservation, le couscous est étalé sur une ligne propre, à la température ambiante et à l'abri des poussières pendant 2 à 3 jours. [5].

En général, la durée de séchage est en fonction de la température ambiante et l'humidité relative. [5,115,128]

2.9. Influence de la semoule sur la qualité du produit fini (couscous)

La dureté, la teneur en protéines, en gluten et la granulométrie des grains de semoule jouent un rôle dans la qualité du couscous. [132]

En effet, les protéines du blé et malgré leurs taux relativement faibles seraient responsable de 30-40% de la variabilité de la qualité culinaire.[133]

Par ailleurs, Debbouz et *al.*, (1994) .[134], ont observé que les rendements en couscous chez les variétés de blé à gluten de force, sont plus élevés que chez leurs homologues à gluten faible.

Le degré de purification des semoules, appréciée par leur teneur en matières minérales, exerce un effet prononcé sur le brunissement des pâtes alimentaires et de couscous : plus la semoule est contaminée par les parties périphériques du grain, plus les pâtes correspondantes sont brunes et ternes [104]

L'effet de la granulométrie des matières premières s'observe également sur la taille des grains de couscous, le couscous artisanal est obtenu à partir des semoules de granulométrie médiane des couscous de granulométrie élevée. [4] (Yousfi, 2002).

L'aspect collant du couscous est fortement corrélé à la quantité des composants solubles de l'amidon et leur degré de ramification, ces composants doivent être le produit d'une dégradation enzymatique de l'amylopectine native lors de la fabrication du couscous.[135]

2.10 Les caractéristiques culinaires du couscous

La caractéristique culinaire d'un produit alimentaire correspond au comportement de l'aliment pendant et après sa cuisson. [136]. Par ailleurs, 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. [137]

La qualité culinaire du couscous est mesurée par l'indice de prise de masse, la délitescence et la capacité d'hydratation d'eau.[138] De ce fait, la notion de la

cuisson du couscous regroupe quatre paramètres à savoir le temps de cuisson, le gonflement, le collant et la perte de matière dans l'eau de cuisson .[4]

La qualité culinaire du 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. Par ailleurs, [115] 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.[138]

Selon Debbouz et Donnelly (1996) [134], 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. [137],

2.11 La qualité technologique et nutritionnelle

La qualité est un concept subjectif. D'une manière générale, un produit de qualité doit être adapté aux habitudes de consommation, être non nocif pour la santé du consommateur et répondre à des normes de qualité prédéfinies dans le pays où il sera commercialisé.

On s'intéresse ici aux normes de qualité au sens large, c'est-à-dire recouvrant l'ensemble des dimensions de la qualité :

➤ Qualité sanitaire et d'hygiène (qualité hygiénique selon le *Codex Alimentarius*) salubrité, innocuité des aliments. Il s'agit d'éviter les risques de contamination microbiologiques et chimiques.

➤ Qualité organoleptique (qualité sensorielle selon le *Codex Alimentarius*) : couleur, forme, goût.

➤ 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. [129], 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) [139],
(selon le *Codex Alimentarius*) .[94] : valeur nutritive du produit : .[140]

➤ Qualité technologique

• Couleur du couscous

Les grains de couscous sont caractérisés par une couleur jaune-claire. [140] 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 [141] La couleur des grains de couscous dépend en grande partie de la couleur initiale de la semoule de blé dur [134]

• Granulométrie des particules

Le codex alimentarius [112] 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 [130]

Selon l'enquête réalisée par Derouiche (2003) [129] 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 [134,130] .Le couscous industriel présente des surfaces rugueuses et des formes hétérogènes [115,140]

Cependant d'après Debbouz et Donnelly (1996) [134] , Les grains de couscous industriel sont des particules plus régulières avec une forme plus homogène et plus sphérique et de surface lisse

Chapitre 3 :

MATERIEL ET METHODES

Ce présent travail a été réalisé sur une période de 6 mois.

Les analyses physico- chimiques ont été réalisées aux niveaux de :

- Laboratoire de l'unité couscous Mama
- Laboratoire de PFE de département biologie
- Laboratoire des Instituté Technique de Grand Culture d'El-Harrach
- Les analyses microbiologiques ont été réalisées au laboratoire d'hygiène de la wilaya de Blida.

La partie expérimentale est répartie en trois étapes:

- Caractérisation physico-chimique et microbiologique de la spiruline.
- Essai de fabrication des couscous enrichi par la spiruline et sa caractérisation physico-chimique et microbiologique.
- Le suivi de l'effet la conservation (4 couscous conservé a 45 et 37 C°) sur la qualité des couscous

3.1. Matériel

3.1.1. Matériel biologique

3.1.1.1. Semoule et couscous

Couscous sont fabrique à base des semoules du blé dur, formules sont :

- Couscous de blé dur comme témoin, composé de 100% de semoule de blé dur (*Triticum durum*).
- Les graines de blé dur sont récoltées en juillet 2012 dans région de Mitidja, ces graines sont nettoyés, sèches (pendant 7 jours) et broyés a l'aide d'un broyeur électrique Marque ALBERT NICOLAS.
- Le couscous enrichi par la spiruline composé par la même semoule
- Les semoules utilisées dans notre fabrication sont présente par la figure 3.5
- Le couscous sont préparés durant la période (du 26 au 30 févriers 2013).

- L'eau de fabrication des couscous est une eau de robinet,
- Le sel utilisé est un sel de cuisine iodé produit par L'entreprise Nationale de Sel (ENASEL).

3.1.1.2. La spiruline

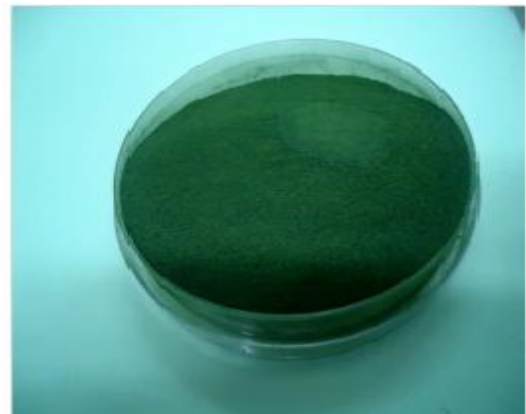
Spiruline de Marrakech : spiruline est sans forme de paillettes emballées sous vide sans additifs ni conservateurs elle a été ramenée du Maroc et par Dr DOUMANDJI Amel.

Les paillettes de spiruline ont été broyées, la poudre obtenue est conservée dans une boîte stérile fermée hermétiquement à l'abri de l'air, de l'humidité et de la lumière.

La poudre de spiruline et les paillettes étudiée sont représentées par la figure3.5.



(a)-spiruline en paillette



(b)-spiruline en poudre

Figure 3.5 : Echantillons de la spiruline (photographie originale)

3.1.2. Matériel non biologique

Le matériel non biologique représenté par (les appareillages et les milieux de cultures sont cités dans l'annexe)

Les ustensiles utilisés pour rouler le couscous sont ceux habituellement employés au niveau domestique et sont ci-dessous décrits. (Figure 3.6)

- 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 de pâtes boulangées 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 l'unité couscous Mama
 - 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/100mm²
- récipient inférieur :
 - Capacité égale à 2L
 - Diamètre du fond égal à 145 mm ;
 - Diamètre du haut égal à 175 mm ;
 - Hauteur : 120mm ;

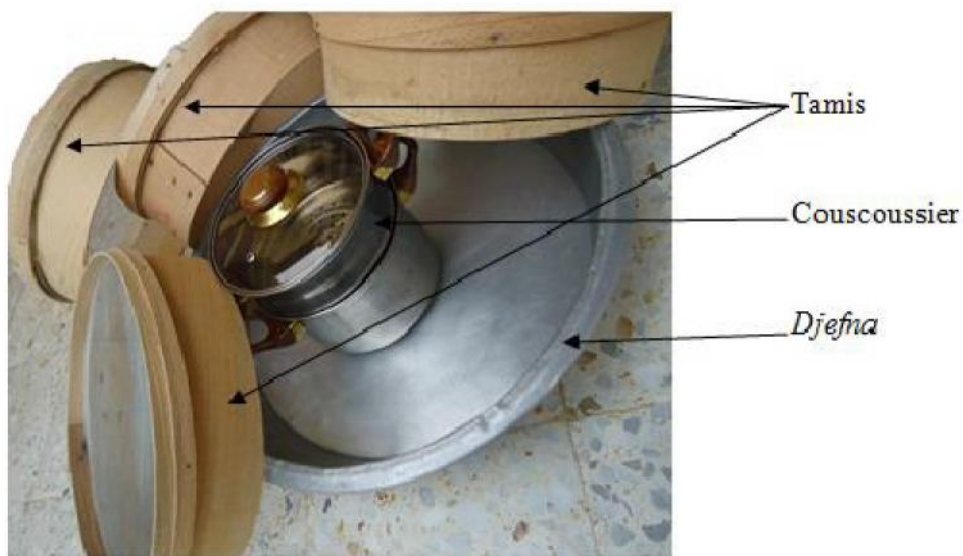


Figure3.6 : Matériel de fabrication artisanale de couscous (photo originale).

3.2. Méthodes

Fabrication du couscous artisanal

3.2.1. Procédé de fabrication du couscous

Suivant la procédure artisanale indiquée dans la figure3.7, le couscous est fabriqué par une semoule moyenne (constitué de 2/3 gosses semoules et 1/3 fines semoules), elle subit différents traitements selon les étapes suivantes ;

- ✓ Le tamisage afin de séparer la grosse semoule de la fine.
- ✓ Une cuisson à la vapeur pendant environ 7 mn de la grosse semoule afin d'augmenter la quantité et d'éviter la formation de grumeaux.
- ✓ Le malaxage consiste à mouiller la semoule avec de l'eau salée (5-10 g/l.)

Le savoir-faire est essentiel à cette étape du procès et conditionne largement la qualité du couscous d'autant que le taux d'hydratation des semoules et la durée de malaxage agissent sur la qualité culinaire du couscous et sur le rendement de fabrication en facilitant son roulage.

✓ Le roulage se réalise par un mouvement de va et vient de la paume des mains tout en additionnant la semoule fine et l'eau salée jusqu'à l'agglomération de la semoule tout en assurant une bonne absorption d'eau pour obtenir des grains de couscous formés de plusieurs grains de semoule agglomérés.

✓ Le tamisage est l'opération qui assure l'homogénéité du couscous à travers deux tamis, le premier à perforations étroites qui vise à éliminer les fines particules qui vont être recyclées et le second à perforations larges qui vise à éliminer les grumeaux formés au moment de l'agglomération appelé « fetla ».

✓ La pré-cuisson du couscous est essentielle, il est cuit à la vapeur dans une couscoussière pendant 10 mn. Ce traitement hydrothermique est obligatoire pour que les grains de couscous gardent leur forme définitive sans se désagréger et aussi dans le but de gélatiniser l'amidon.

✓ Le séchage consiste à ramène l'humidité du couscous d'environ 12,5 %, permettant ainsi une parfaite conservation. Dans ce mode traditionnel, le séchage est réalisé dans un linge ou papier propre à l'air libre à une température ambiante et une humidité relative.

✓ Le stockage vise la conservation du produit fini où les conditions du milieu (température et humidité) doivent être favorables pour éviter toute dégradation.

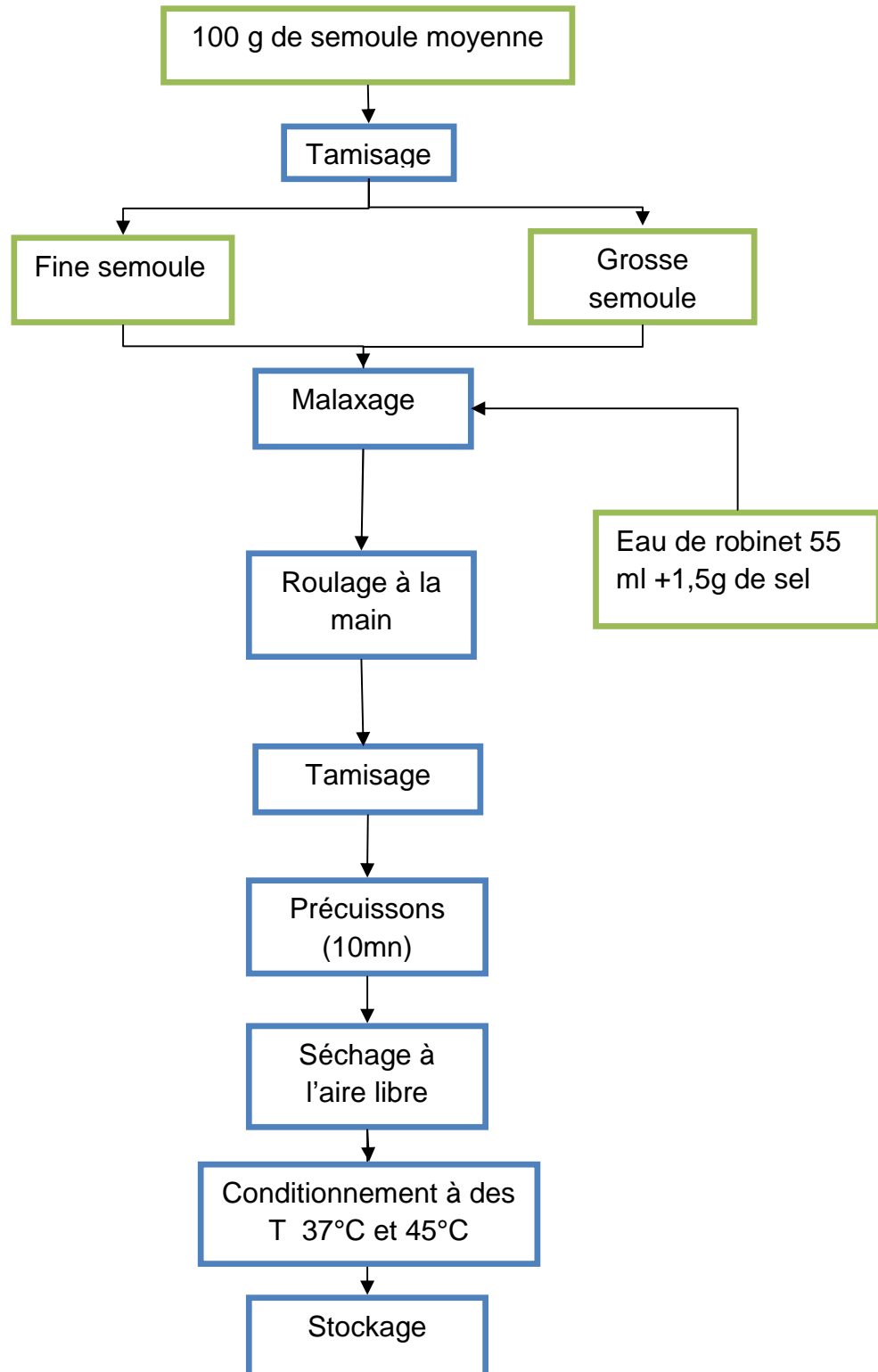


Figure 3.7 : Diagramme de fabrication du couscous artisanal (couscous témoin).

3.2.2. Taux d'incorporation de la spiruline sèche

Cette étape consiste à mélanger 1 g, 2 ou 5 g ou de biomasse sèche finement broyé avec 108 g de semoule, agglomérer avec 55 ml d'eau.

Les étapes de fabrication du couscous enrichi en spiruline sont indiquées dans le diagramme de la figure 3.8.

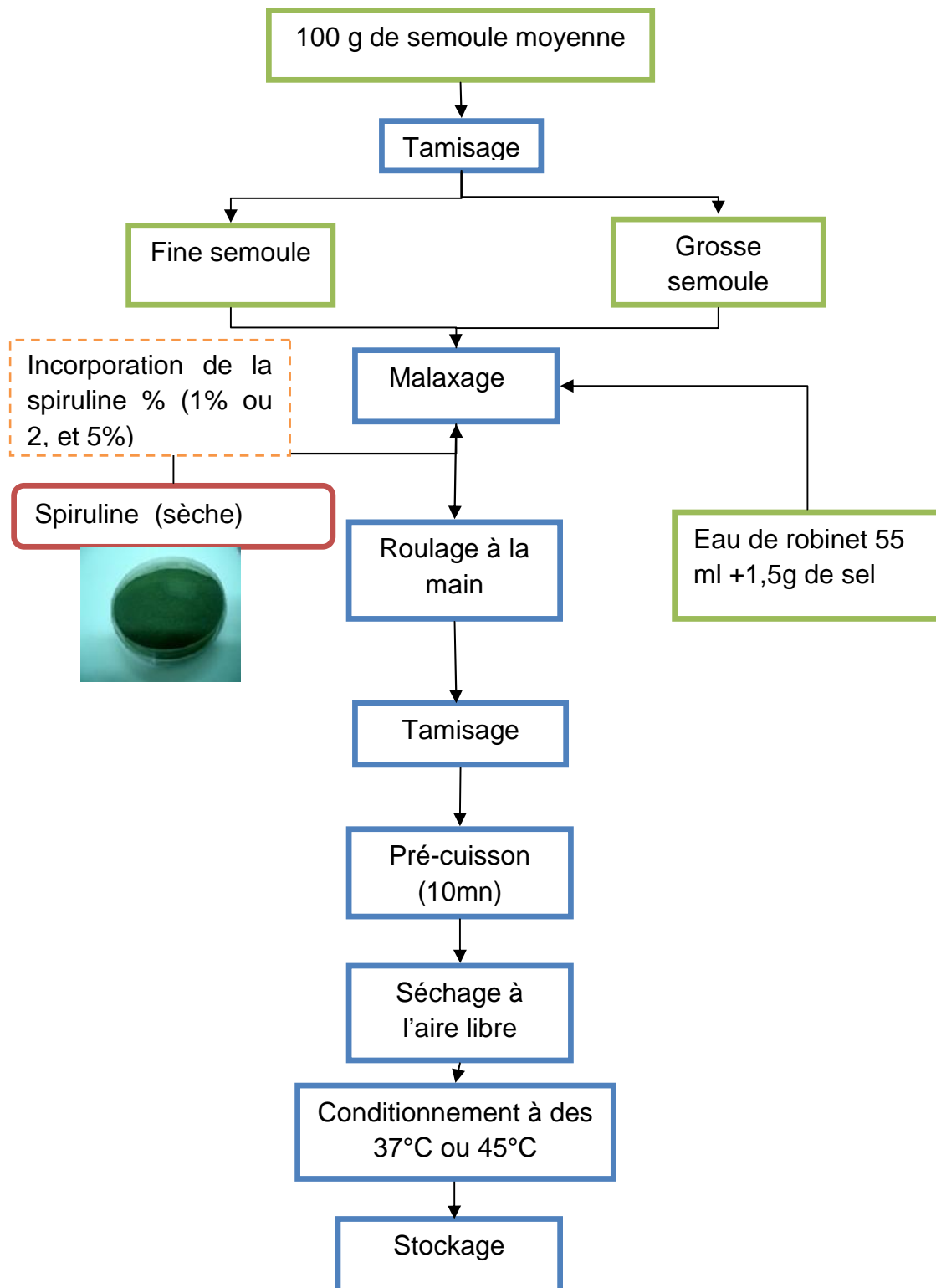


Figure 3.8 : diagramme de fabrication des couscous artisanal enrichie en spiruline (1% ,2 et 5 % de la spiruline).selon Doumandji et al (2011) [81]

3.2.3. Méthodes d'analyses

3.2.3.1 Analyses effectuées sur l'eau de fabrication (AFNOR 1986):

3.2.3.1.1-Détermination du Titre Alcalimétrique (TA) et Titre Alcalimétrique Complet (TAC) d'eau :

➤ Principe :

Cette technique est basée sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide sulfurique dilué en présence d'un indicateur coloré.

A. Titre alcalimétrique :

- But :

Le titre alcalimétrique ou TA permet de connaître la teneur de l'eau à analyser en hydroxydes et seulement la moitié de la teneur en carbonates et un tiers des phosphates présents.

- Mode opératoire :

Dans un bêcher, on met 50ml d'eau à analyser puis 1 à 2 gouttes de phénophtaléine comme indicateur coloré. Une coloration rose doit se développer si la réaction est positive.

Dans le cas contraire le TA est nul

Dans le cas où la réaction est positive on verse doucement l'acide sulfurique (0,1mol/l) dans un bêcher à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution

- Expression des résultats :

Où :

$$\text{TAC} = [\text{CO}_3^{-2}] + [\text{OH}^-]$$

TA : Titre alcalimétrique en °F.

V : Volume d'acide sulfurique en ml pour obtenir le virage.

1°F correspond à 10mg de carbonate de calcium ou 0,2mEq/l.

B. Titre alcalimétrique complet ou TAC :

- But

Le titre alcalimétrique complet (TAC) permet de connaître la teneur totale en hydroxydes, carbonates, hydrogénocarbonates alcalino-terreux.

- Mode opératoire

On utilise l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration auquel on ajoute 2 gouttes de solution de méthyle orange et on titre de nouveau avec la même solution acide jusqu'au virage du jaune au jaune orange

- Expression des résultats :

Le résultat du TAC est donné par lecture directe sur la burette du volume de l'acide sulfurique utilisé pour le titrage.

$$\mathbf{TAC} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

Où :

TAC : titre alcalimétrique complet en °F.

V : volume de l'acide sulfurique en ml versé depuis le début du dosage.

3.2.3.1.2- Détermination du titre hydrométrique ou TH de l'eau :

Cette méthode permet de doser rapidement les trois ions de calcium et de magnésium.

- But :

Le titre TH représente la dureté totale de l'eau exprimée par la présence des sels de calcium et de magnésium.

- Principe :

C'est une méthode qui consiste à doser un volume d'eau avec le sel disodique d'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA), en présence d'indicateur coloré : le Noir Ericochrome T (NET), à 0,5% et la solution tampon ammoniacal.

- Mode opératoire

On prend 50ml d'eau auxquels on ajoute 5ml de solution tampon ammoniacal et quelques gouttes de l'indicateur coloré NET ; le mélange est titré par la solution EDTA (0,01N) jusqu'à virage de la couleur du violet au bleu

- Expression des résultats :

$$\mathbf{TH = V \times 2}$$

Où :

TH : titre hydrométrique en °F.

V : volume de la solution EDTA utilisé pour titrage en ml.

3.2.3.2. Caractérisation physico-chimique de la spiruline

3.3.3.2.1. Détermination du pH

Le pH est déterminé sur une solution de spiruline à 4% (4 g de poudre de spiruline diluée dans 100 ml d'eau distillée) à l'aide d'un pH mètre de type HANNA préalablement étalonné [142]

3.2.3.2.2. Détermination de la teneur en humidité (NF V 04-282/ ISO 5534)

- But

La connaissance de l'humidité renseigne sur l'aptitude du produit à la conservation et d'un éventuel développement microbien. Il existe une étroite relation entre l'humidité et l'*a_w* qui conditionne la vie de tel ou tel groupe de microorganismes.

- Principe

Séchage du produit à une température de 103°C pendant 2 heures, à pression atmosphérique normale.

- Mode opératoire

Deux déterminations sont effectuées sur le même échantillon pour essai.

- Peser 5g de spiruline à 0,1 mg près, dans une capsule tarée.
- Introduire les capsules contenant la prise d'essai dans une étuve (type BIDER) réglée à 103±2°C, laisser séjourner 2 heures.
- Retirer rapidement les capsules de l'étuve, les couvrir et les

placer dans le dessiccateur pendant 30 à 45min pour refroidir, ensuite les peser

• Les résultats exprimés en pourcentage du poids d'eau par rapport au poids initial, sont exprimés par l'équation suivante :

$$H\% = 100 \left(\frac{M1 - M2}{M1 - M0} \right)$$

H : taux d'humidité, exprimé en pourcentage (%) en masse ;

M₀ : masse, en grammes, de la capsule vide ;

M₁ : masse, en grammes, de la capsule et de la prise d'essai ;

M₂ : masse, en grammes, de la capsule et le résidu sec.

3.2.3.2.3. Estimation de la matière sèche

La matière sèche, exprimée en pourcentage en masse et donnée par la formule suivante

$$MS \% = 100 - H\%$$

Où :

MS : Matière sèche

H : Taux d'humidité

3.2.3.2.4. Détermination du taux de cendres (NA 732/1990)

Les cendres sont le résidu obtenu, après incinération d'un produit, exprimé généralement en pourcentage en masse par rapport à la matière sèche.

La détermination du taux de cendres nous donne une indication sur la quantité de matière minérale contenue dans un produit.

Mode opératoire

a- Préparation des nacelles à incinération

- Immédiatement avant l'emploi, chauffer durant environ 15 min les nacelles dans le four à moufle (Type LINN ELECTRO THERM) réglé à 550°C

- les laisser ensuite refroidir dans le dessiccateur, pendant une heure environ et les peser à 0,1mg près.

b- Préparation de l'échantillon pour essai

- Peser à 0,1mg près environ 5g de spiruline dans une nacelle tarée.
- Afin d'obtenir une incinération uniforme, humecter la prise d'essai dans la nacelle, immédiatement avant pré-incinération, au moyen de quelques gouttes d'éthanol.

c- Pré-incinération

La porte du four étant ouverte, placer les nacelles et leurs contenu à l'entrée du four, préalablement chauffé à 550°C jusqu'à ce que la matière s'enflamme

d- Incinération :

Aussitôt que la flamme est éteinte, placer avec précaution les nacelles dans le four. Poursuivre l'incinération jusqu'à disparition des particules charbonneuses qui peuvent être incluses dans le résidu et obtention d'une couleur gris clair ou blanchâtre, généralement six heures. Après l'incinération totale, retirer les nacelles du four et les placer dans un dessiccateur pendant 30 à 45 min. Peser rapidement à cause du caractère hygroscopique des cendres.

E- Expression des résultats

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

$$C\% = \frac{m_3 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \times \frac{100}{100 - H}$$

C : Taux de cendres, exprimé en pourcentage (%) en masse ;

m_0 : Masse, en grammes, du creuset vide ;

m_1 : Masse, en grammes, du creuset et de la prise d'essai ;

m_3 : Masse, en grammes, du creuset et son contenu (cendres) après incinération.

H : Humidité, en pourcent, de l'échantillon.

3.2.3.2.5. Estimation de la matière organique

La matière organique, exprimée en pourcentage en masse et donnée par la

formule suivante

$$MO\% = 100 - C\%$$

Où :

MO : Matière organique

C : Taux de cendres

3.2.3..2.6. Détermination de la teneur en protéine (Méthode Kjeldahl dans NA : 1185/1990)

La méthode permet de déterminer conventionnellement la teneur en protéines brutes des aliments à partir de la teneur en azote.

a- Première étape : Minéralisation sulfurique

Introduire dans le matras-Kjeldahl :

- 1g de l'échantillon et éviter les contacts avec les parois.
- Le catalyseur (6g de sulfate de potassium, 1g de sulfate de cuivre) : 1g du mélange.
- 25 ml d'acide sulfurique concentré.
- Placer le matras incliné sur le dispositif de chauffage, chauffer d'abord doucement (pour éviter la montée de la mousse).
- Faire ensuite, bouillir vigoureusement jusqu'à l'impidité de la solution (350°C), en agitant de temps à autre le matras.
- Laisser refroidir.

b- Seconde étape : Distillation de l'ammoniac

Verser dans le matras refroidi contenant la solution limpide obtenue :

- 50ml d'eau distillée.
- 50ml de solution d'hydroxyde de sodium à 35% à ajouter une fois que l'appareil à distiller est prêt à fonctionner.
- L'extrémité de l'appareil plongée assez profondément dans un erlenmeyer de 300ml contenant 25ml d'acide borique à 4% (l'acide borique permet

de fixer l'ammoniac distillée) et l'indicateur coloré.

- Après 4 minutes de distillation, il y aura virage de la couleur du rouge au bleu verdâtre.

c- Troisième étape: titrage

Il faut titrer rapidement l'ammoniac dans la solution de la distillation, avec la solution d'acide chlorhydrique à 0,25N, la lecture du volume de ce dernier se fait au moment du virage de la couleur au rose.

- Expression des résultats

La teneur en protéines exprimée en pourcentage rapportée à la matière sèche est donnée par la formule suivante :

$$P\% = \frac{0.001 \times 0.25(V1 - V0)6.25}{m} \times \frac{100}{100 - H} \times 100$$

Où :

m : La masse de la prise d'essai en grammes.

V1 : Volume (ml) d'acide chlorhydrique utilisé dans le titrage de l'échantillon.

V0 : Volume (ml) d'acide chlorhydrique utilisé dans l'essai à blanc.

H : La teneur en eau du produit.

0,0014 : Indice d'azote.

6,25 : Facteur de conversion.

0,25 : Normalité de HCl.

3.2.3.2.7. Détermination de la teneur en matière grasse (ISO 734-1/2000)

Les corps gras sont les substances organiques qui peuvent être extraites à partir des substrats par des solvants organiques non polaires au moyen de l'appareil *Soxhlet*.

- Mode opératoire
 - Peser le ballon vide et sec.
 - Peser 2-5g de l'échantillon, mettre dans la cartouche.
 - Remplir le ballon avec environ 250ml d'éther de pétrole.
 - Poser le ballon sur la chauffe ballon réglé à 60°C.
 - Ajuster le Soxhlet sur le ballon.

- Mettre le réfrigérant en marche en même temps que le chauffe ballon.
- Extraire pendant 6h (extraction maximale) pour obtenir un résultat précis et juste.
- Concentrer l'éther par un rotavapor.
- Sécher l'extrait à l'étuve à moins 100°C (1 à 2h).
- Refroidir dans un dessiccateur et peser. Poursuivre la dessiccation jusqu'à poids constant.
- Expression des résultats

Le taux de matière grasse est exprimé en pourcentage en masse rapporté à la matière

- M_G Taux de la matière grasse, exprimé en pourcentage (%) en masse ;
- B_p :: Masse, en grammes, du ballon plein (après extraction) ;
- B_v : Masse, en grammes, du ballon vide ;
- Masse, en grammes, de la prise d'essai initiale.
- H : Humidité de l'échantillon.

3.2.3.2.8. Détermination de la teneur de la cellulose brute (AFNOR. NFV03040, février 1977)

➤ Définition de la cellulose

La cellulose, le constituant principal de toutes les matières végétales, forme environ la moitié à un tiers de tissus végétaux et chimiquement, la cellulose est un homopolymère linéaire formé d'unités de D-glucose liées les uns aux autres par des liaisons 1 -4 en configuration β -glycosidique. [143]

L'analyse a été réalisée sur des prises d'essai d'environ 1 g à l'aide de l'appareil FIBERTEC SYSTEM.

➤ Principe

La teneur en cellulose brute est le résidu obtenu après deux hydrolyses successives et la différence de poids entre les deux pesées représente les matières cellulosiques.

➤ Mode opératoire

- Peser 1g de l'échantillon, l'introduire dans creuset taré ;
- Placer les creusets sur le berceau de positionnement et les bloquer à l'aide de la manette;
- Ajouter environ 100 ml de la solution d'acide sulfurique à 0,128 M, chauffer pour obtenir une ébullition rapide et maintenir celle-ci pendant 30 min.
- Après avoir éliminé la solution de digestion, effectuer un lavage du résidu par l'eau distillée bouillante jusqu'à la fin de formation de mousse sous la plaque poreuse du creuset.
- Ajouter 100ml de la solution d'hydroxyde de sodium à 0,312 M, faire bouillir pendant 30min exactement après le début de l'ébullition, effectuer un deuxième lavage par l'eau distillée.
- Retirer les creuset de l'appareil, les placer dans une étuve réglée à 105°C pendant 24h, laisser refroidir au dessiccateur puis peser, remettre les creusets dans un four réglé à 550°C pendant 3h, après refroidissement au dessiccateur pesé à nouveau.

➤ Expression des résultats

La teneur en cellulose brute rapportée à la matière sèche est calculée par la formule suivante :

$$CB \% = \frac{P1 - P2}{P} \times 100 \times \frac{100}{100 - H}$$

Où :

P1 : Poids du creuset+ résidu après dessiccation, en grammes.

P2 : Poids du creuset+résidu après incinération, en grammes

P : Poids de la prise d'essai, en gammes.

H : Teneur en eau.

3.2.3.2.9. Détermination de la teneur en glucides totaux (méthode phénol-acide sulfurique : Dubois et *al.*, 1956) [144]

- Principe

Dans un milieu acide et à chaud, le glucose se transforme en hydroxyméthylfurfural, qui forme un complexe vert avec le phénol, ce complexe a une absorbance maximale à 490 nm.

- Mode opératoire :

- Peser 0,1 g de spiruline, ajouter 5 ml d'acide chlorhydrique (HCl) à 2,5 N. Hydrolyser le mélange dans un bain marie réglé à 100°C pendant 3h.
- Refroidir à température ambiante.
- Neutraliser avec du carbonate de sodium solide, jusqu'à ce que l'effervescence cesse.
- Filtrer la solution si nécessaire, compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.
- Prélever 0,1ml et 0,2 ml de cette solution dans un tube à essai, compléter le volume dans chaque tube à 1mL avec de l'eau distillée. Ajouter 1 ml d'une solution de phénol (5%), Agiter énergiquement ; puis verser 5 ml d'acide sulfurique concentré (96%), agiter à nouveau.
- Préparer un blanc de la même manière avec 1 ml d'eau distillée.
- Laisser reposer pendant 10 min, puis mettre les tubes à essai au bain-marie à une température entre 25-30°C pendant 20min.
- Après refroidissement, la densité optique est lue à 490 nm contre le blanc de référence.

- Préparation de la courbe d'étalonnage :

A partir d'une solution mère de glucose 0,1%,

- Prélever 10 ml et les introduire dans une fiole qu'on doit compléter à 100 ml d'eau distillée. De cette solution fille prélever 0,2 ; 0,4 ; 0,6 et 0,8 et 1ml présentant respectivement des quantités de 20 ; 40 ; 60 ; 80 et 100ug de sucres dans des tubes à essai puis ajuster à 1ml avec l'eau distillée,
- Additionner 1ml de la solution de phénol à 5% et 5ml d'acide sulfurique concentré (96%) dans les mêmes conditions opératoires utilisées pour l'échantillon.
- Déterminer la concentration en sucres ; en se référant à une courbe étalon.

- Expression des résultats

La teneur en glucides totaux rapportée à la matière sèche est donnée par la formule suivante : $GT \% = \frac{X}{0.1} \times 100 \times \frac{100}{100-H}$

GT : Taux des carbohydrates.

X : Absorbance de 0,1 ml de la solution à analyser.

H : Humidité de l'échantillon.

3.2.3.2.10. Valeur énergétique

La détermination du taux de protéines, lipides et glucides nous a permis de calculer la valeur énergétique de la spiruline analysée suivant la formule :

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

3.2.3.2. Caractérisation physico-chimique de semoule et couscous

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

3.2.3.2.1. 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 :

3.2.3.2. Dosage des lipides libres

Il s'agit d'extraire les lipides libres d'une prise d'essai de 3 g pesé à 10-4 g près, par un solvant organique (Hexane) (Paragraphe 3.2.3.2.7).

La teneur en lipides libres est exprimée en pourcentage en masse du produit.

3.2.3.3. Dosage des protéines totales

La teneur en azote est mesurée par la méthode de Kjeldahl [145]_(ISO 5983-1979) (même principe Paragraphe 3.2.3.2.6).

La teneur en protéines (P) pour les céréales est estimée en multipliant la teneur en azote par un facteur de conversion $K = 5,75$ [146].

3.2.3.4. Taux de cendres

Il est déterminé par l'incinération jusqu'à combustion complète de la matière organique de 3 grammes de produit dans un four à moufle à 900°C, pendant 90 minutes (AFNOR NF-03- 720,1991 b) [147].. Les résultats exprimés en pourcentage, sont donnés par la formule :

$$C \% = M1 \times \frac{100}{M0} \times \frac{100}{100 - H}$$

C : teneur en cendre

M1 : masse de résidu en gramme

M0 : masse de la prise d'essai en gramme (3g)

H : teneur en eau de l'échantillon en pourcentage

3.2.3.5. Teneur en gluten humide

La teneur en gluten est déterminée selon la méthode de Kiger et Kiger (1967).[148] Le principe consiste à peser le gluten extrait d'une pâte préparée de 25 g de semoule et les résultats exprimés en pourcentage selon la formule suivante :

$$GH = \frac{P1 \times 100}{MP}$$

GH : teneur en gluten humide

P1 : poids de gluten humide

M: masse en gramme de la prise d'essai (25 g)

3.2.3.5. Teneur en gluten sec

Pour la détermination de la teneur en gluten sec, il suffit de sécher le gluten humide dans une étuve à 130°C pendant 2 heures, la teneur en gluten sec s'exprime selon la formule

$$:GH = \frac{P1 \times 100}{MP}$$

GS : teneur en gluten sec

P2 : poids de gluten sec

M : masse en gramme de la prise d'essai (25 g)

Le coefficient d'hydratation (CH) est déterminé à partir de la teneur en gluten humide et sec :

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

3.2.4. Analyses technologiques

Nous avons réalisé 3 essais pour la détermination de l'extensibilité et le ramollissement du gluten.

3.2.4.1. Extensibilité du gluten

Elle est déterminée par la mesure de l'allongement en centimètre pendant 2 heures d'une boulette de gluten humide de 2 g soumise à une charge de 4 g, l'ensemble est placé dans une éprouvette de 100 ml et de 25 cm de longueur munie d'un papier millimétré et remplie par l'eau de robinet, selon la méthode de Kosmina et Kranz modifiée par Muller (1969) cité par Namoune (1989).[150]

Cette méthode nous permet de classer le gluten en 5 catégories :

- Gluten très bon : garde sa longueur après 2 heures,
- Gluten bon : s'allonge jusqu'à 1,5 cm,
- Gluten doux : s'allonge vite (plus de 1,5 cm),
- Gluten faible : s'allonge considérablement et casse avant la fin de l'essai,
- Gluten court : s'allonge légèrement mais casse vite.

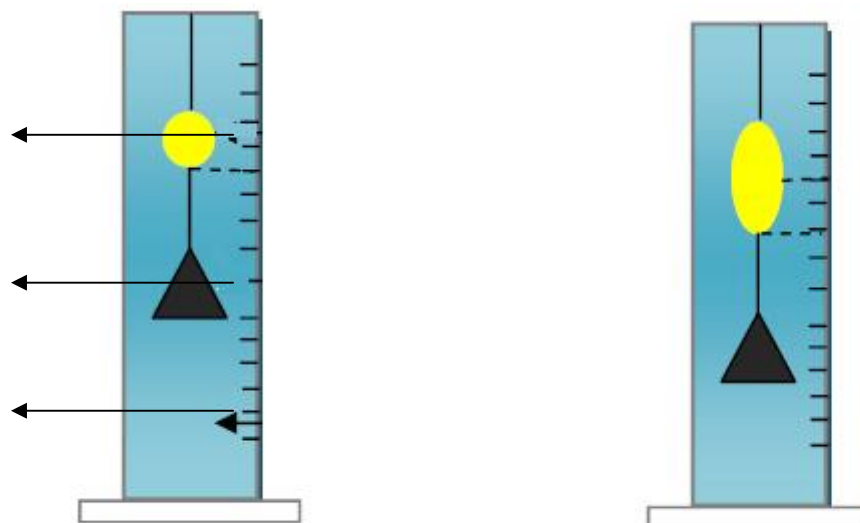


Figure 3.10 Présentation de la méthode de Kosmina et Kranz modifiée par Muller (1969)[149,150]

3.2.4.2. Ramollissement du gluten

Il est déterminé par le calcul de la différence après 60 minutes entre deux diamètres moyens (initial et final) d'une boulette de gluten humide de 5 g déposée sur une plaque de verre munie d'un papier millimétré, l'ensemble est couvert avec un cristallisateur muni d'un papier buvard imbibé d'eau afin de maintenir le milieu humide selon la méthode de Kauzes *et al.*[151] (1966) cité par Kezih (1998).[152]

Cette méthode nous permet de distinguer 4 types de gluten :

- Ramollissement < 2 mm : gluten ferme, tenace, développement très difficile lors de la fermentation ce qui donne un pain plat,
- Ramollissement de 2 à 4 mm : gluten de bonne qualité,
- Ramollissement de 4 à 8 mm : gluten de qualité moyenne,
- Ramollissement de 8 à 13 mm : gluten de mauvaise qualité.

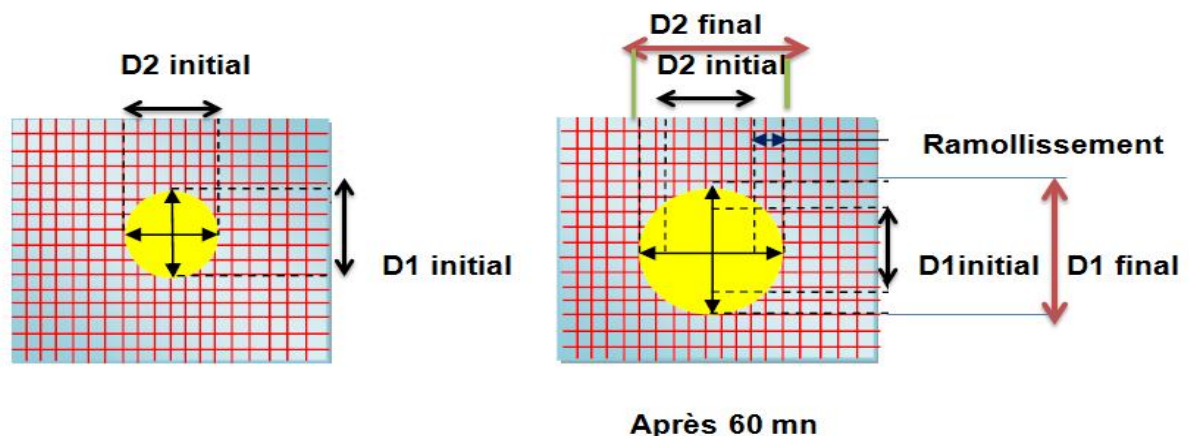


Figure 3.11. Présentation de la méthode de Kauzes *et al.* (1966) [151]

3.2.5.. Qualité technologique

3.2.5.1 La granulométrie (NF V03 -721/1994)[153]

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 en utilisant des tamis à des ouvertures des mailles ordonnées du haut vers le bas

comme suit : 1120 μm ,710 μm , 450 μm . pendant 10 minutes et pesée à 0.01g près à l'aide d'une balance de précision analytique de marque KERN.

➤ Mode opératoire :

- Peser 100g d'échantillon à analyser
- Déposer la prise d'essai sur le tamis supérieur
- Placer le sur un appareil qui exerce des mouvements circulaires vibratoires uniformes (planchister du laboratoire) dont la vitesse est de 60r/min pendant10 minutes
- Peser le refus de chaque tamis

3.2.5.2. Indices de colorations (CIE)

La couleur se caractérise par deux composantes, l'indice de jaune et l'indice de brun, dans tous les cas si l'indice de jaune est élevé et l'indice de brun est faible, le résultat est satisfaisant. Cette mesure a un d'intérêt strictement commercial qui permet d'apprécier la couleur des produits finis à l'aide d'un colorimètre.

Ces indices peuvent être déterminés à partir de mesure d'absorption aux deux longueurs d'onde 480 et 550 ou bien exprimés dans le système L ,a, b dans les conditions retenues par la Commission Internationale de l'Eclairément.

Les résultats sont exprimés en fonction du système de mesure CIE (L, a b).

Expression des indices :

a : indice de rouge.

b: indice de jaune.

100-L : indice de brun.

3.2.6. Qualité culinaire du couscous

3.2.6.1. Temps de cuisson

3.2.6.1.1 Cuisson de couscous

Des essais préliminaires ont été faits afin de bien adopter le diagramme de la cuisson de couscous en déterminant la prise d'essai de couscous, la quantité de l'eau utilisée à l'hydratation et le temps de repos nécessaire. Ces paramètres sont présentés dans la figure

Le récipient inférieur du couscoussier utilisé pour la réalisation des tests déterminant la qualité culinaire de couscous ayant la capacité de 2 litres et les dimensions du récipient supérieur sont :

- Diamètre du fond : 15 cm
- Diamètre du haut : 17 cm
- Hauteur : 12 cm

3.2.6.1.2. Détermination du temps de cuisson

Un chronomètre est utilisé pour la détermination du temps de cuisson, ce dernier est comptabilisé à partir de l'apparition de la vapeur d'eau à la surface de couscous selon l'enquête réalisée par Derouiche (2003)[129]. Les temps de cuisson de couscous selon le même auteur sont :

- A.** Temps minimal : est déterminé visuellement, quand le flux de vapeur apparaît à la surface du couscous.
- B.** Temps optimal : est compté en additionnant les 2 temps de cuisson (première et deuxième cuisson). A ce temps, les grains de couscous sont individualisés et présentent une certaine tendreté.
- C.** Temps de surcuisson (maximal) : c'est le temps pour lequel le produit forme des mottes importantes, ce qui donne un aspect déplaisant.

3.2.6.1.3. Indice gonflement

Un échantillon de $20 \pm 0,01$ g de couscous sec est versé dans une éprouvette graduée de 200 ml contenant 50 ml d'eau. L'éprouvette est bouchée. On effectue 10 retournements 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 bouchée et mise debout dans un bain Marie à température de 95°C, puis on note le volume du couscous après 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 et 60 mn) [115,129]. On détermine le gonflement (G) selon la relation:

$$\mathbf{IG (\%)} = \mathbf{100} \times \frac{V_f - V_i}{V_i}$$

V_f : volume final du couscous lu sur l'éprouvette

V_i : volume initial du couscous sec sur l'éprouvette

3.2.6.1.4. Délitescence [115]

- Principe
La délitescence permet de déterminer l'état de désagrégation du couscous cru ou cuit, elle est exprimée en pourcentage
- Mode opératoire
 - Placer 10g de couscous sec dans un bêcher
 - Ajouter 50ml d'eau distillée
 - Agiter pendant 5minutes
 - Prélever une partie aliquote de la solution filtrée par un tamis fin (N10 NYLON)
 - Sécher à l'étuve pendant 17heures à 100°C

3.2.6.1.5. Comportement de l'amidon [154]

Le comportement d'amidon correspond aux phénomènes de gonflement irréversible et de la solubilisation qui est observés lorsque les grains d'amidon sont chauffés au delà de 60°C en présence d'un excès d'eau, cela se traduit par deux indices respectivement :

- ✓ L'indice de gonflement (IG): permet d'apprécier le degré de gélatinisation de l'amidon, il est défini par le poids du culot rapporté au poids initial de l'échantillon diminué du poids de l'extrait sec.
- ✓ L'indice de solubilité (IS): permet d'apprécier le degré de désagrégation de l'amidon, il est défini par le poids de la substance dissoute de l'échantillon. Consiste à peser l'extrait sec issu d'un étuvage à 100°C pendant 15 h. Les résultats sont donnés selon les formules suivantes

$$IS = \frac{\text{Moyenne de l'extrait sec (g)}}{PE \times (100 - H/100)} \times 100$$

3.2.7. Qualité organoleptique du couscous (Test de dégustation)

La détermination de la qualité organoleptique du couscous repose sur un test de dégustation, réalisé par plusieurs personnes où les caractères organoleptiques sont évalués séparément, chaque dégustateur donne son jugement et porte son avis sur une fiche de dégustation, seule les grandes classes sensorielles sont définies : couleur, odeur, saveur.

3.2.8. Valeur nutritionnelle du couscous

La valeur nutritionnelle du couscous est déterminée par le taux de protéines, les lipides et les glucides, selon la relation suivante :

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

3.2.9. Caractérisation microbiologique

3.2.9.1. Préparation des échantillons

La technique figure dans la norme (AFNOR. NF 08 010 de Mars 1996) il existe parallèlement une norme (ISO 6 887 de 1999]

- Les dilutions sont toujours effectuées dans des conditions aseptiques
- Peser 25g de l'échantillon
- Transférer dans un flacon stérile contenant 225 ml de TSE (Tryptone Sel Eau) : Obtention de la suspension mère.
- Prélever aseptiquement 1 ml de la suspension mère à l'aide d'une pipette graduée stérile de 1 ml munie d'une poire à aspiration ; l'homogénéisation du prélèvement se fait après aspiration est refoulement 3 fois.
- Transférer aseptiquement le 1 ml prélevé dans le 1er tube (10-2), la pipette ne devrait pas pénétrer dans les 9 ml du diluant qui est le TSE.
- A l'aide d'une 2ème pipette stérile de 1 ml, procéder de même du tube 10-2 au tube 10-3.

3.2.9.2. Recherche et dénombrement des germes aérobies mésophiles totaux (GAMT) (AFNOR, NF 08-051, 1991)

1. Mode opératoire

- A partir des dilutions décimales 10-3 à 10-1, porter 1 ml dans deux boîtes de Pétri.
- Ajouter environ 20 ml de la gélose PCA (gélose glucosé à l'extrait de levure « Plate Count Agar ») fondu et refroidie à 45±1°C.
- Effectuer des mouvements circulaires et de va et vient en forme de huit pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose utilisée.
- Laisser solidifier sur paillasse

- Rajouter une deuxième couche de la même gélose pour éviter les contaminations.
- - Incuber les boîtes couvercles en bas à 30°C pendant 72 heures.
- - Effectuer la lecture chaque jour
-

Remarque :

- Lors de l'ensemencement il est recommandé de commencer par la plus forte dilution à savoir 10⁻³ dans le but de ne pas changer de pipettes.
 - Entre la préparation de la suspension, des dilutions et la mise en culture, il ne doit pas s'écouler plus de 45 min.
 - Les colonies des GAMT se présentent sous forme lenticulaire en masse
- Les mêmes protocoles opératoires que ceux utilisés pour la caractérisation microbiologique de la spiruline, ont été utilisés.

2. Dénombrement :

Il s'agit de compter toutes les colonies ayant poussé sur les boîtes en tenant compte du facteur suivant :

- Ne dénombrer que les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies.

3. Expression des résultats

$$N = C \times \text{inverse de la dilution}$$

Où :

N : Nombres de micro-organismes par gramme de produit analysé.

C : Nombres de colonies de chaque boîte.

3.2.9.3. Dénombrement des spores d'anaérobies sulfitoréducteurs (AFNOR NF 08-061, 1994)

➤ Principe

La méthodologie proposée permet la destruction des formes végétatives et le seul dénombrement des spores ayant résisté au traitement thermique. Les microorganismes anaérobies sulfitoréducteurs sporulent et sont capables de se développer en condition d'anaérobiose et de manifester des propriétés sulfitoréductrices. Le milieu viande foie (VF) contient de l'amidon qui favorise la

germination des spores, du sulfite qui est réduit en sulfure qui précipite avec les ions ferriques en formant un précipité noir. Outre la thermorésistance des spores, la sélection est basée sur la culture en anaérobiose stricte [155].

➤ Mode opératoire

- Préparation du milieu :
 - Faire fondre un flacon de la gélose viande foie (VF) puis le refroidir à 45°C.
 - Ajouter une ampoule d'alun de fer et une ampoule de sulfite de sodium.
 - Mélanger soigneusement et aseptiquement.
 - Mélanger soigneusement et aseptiquement.
 - Maintenir le milieu dans une étuve ou au bain-marie à 45°C jusqu'au moment de l'utilisation.
 -

➤ Ensemencement et incubation :

- Porter aseptiquement 2 ml de chaque dilution (10-1 et 10-2) en double dans deux tubes à vis stériles de 16 mm de diamètre.
- Les tubes contenant les dilutions 10-1 et 10-2 seront soumis, d'abord à un chauffage à 80°C pendant 8 à 10 minutes, puis à un refroidissement immédiat sous l'eau de robinet, dans le but d'éliminer les formes végétatives et de garder uniquement les formes sporulées.
- Puis ajouter environ 15 ml de gélose Viande Foie prête à l'emploi, dans chaque tube.
- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes.
- Ces tubes seront ainsi incubés à 37°C pendant 16, 24 ou au plus tard 48 heures.

➤ Lecture

La première lecture doit se faire impérativement à 16 heures car :

- D'une part les colonies de Clostridium Sulfitoréducteurs sont envahissantes auquel cas on se trouverait en face d'un tube complètement noir rendant alors l'interprétation difficile voire impossible et l'analyse est à refaire.

- D'autre part, il faut absolument repérer toute colonie noire ayant poussée en masse et d'un diamètre supérieur à 0,5 mm.

Dans le cas où il n'y a pas de colonie caractéristique ré-incuber les tubes et effectuer une deuxième lecture au bout de 24 heures voir 48 heures.

3.2.9.4. Recherche et dénombrement des coliformes

A) Milieu solide VRBL

➤ Principe :

Cette méthode est basée sur le fait qu'une cellule, placée sur un milieu solide favorable : gélose VRBL donnera naissance à une colonie macroscopiquement visible.

➤ Mode opératoire :

- Ensemencement et incubation :

- A partir des dilutions décimales allant de 10^{-3} à 10^{-1} , porter aseptiquement 2 fois 1 ml dans des boites de Pétri vides préparées à cet usage et numérotées.
- Couler ensuite chaque boite avec la gélose VRBL, fondue puis refroidie à $45 \pm 1^\circ\text{C}$.
- Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de bien se mélanger à la gélose utilisée.
- Une série de boites sera incubée à 37°C , pendant 24 à 48 h et servira à la recherche de Coliformes totaux.
- L'autre série sera incubée à 44°C pendant 24 à 48 h et servira à la recherche de Coliformes fécaux.
- Que se soit à 37 ou à 44°C , les premières lectures se feront au bout de 24 h et consistent à repérer les petites colonies rouges ayant poussé en masse mais fluorescentes, ce qui signifie que la lecture doit se faire dans une chambre noire et sous une lampe à UV. Les autres colonies non fluorescentes ne sont ni des coliformes totaux ni des coliformes fécaux.

- Lecture et dénombrement :

- Il s'agit de compter toutes les colonies ayant poussé sur les boîtes en tenant compte des facteurs de dilutions, de plus :
- Les colonies apparaissent rouges à violettes de 0,5 à 1mm de diamètre entourées d'un halo de précipité des sels biliaires.
- Ne dénombrer que les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies.
- Multiplier toujours le nombre trouvé par l'inverse de sa dilution.
- Il est impossible de trouver plus de Coliformes fécaux que de Coliformes totaux

B) Milieu liquide : (l'eau) norme NFT90-4/3 :

Le dénombrement se fait sur milieu liquide BCPL, en faisant appel à deux tests consécutifs (Test de présomption et confirmation).

➤ Test présomptif :

- Dans un flacon contenant 50ml de BCPL (D/C) + cloche de Durham, on transfère 50ml d'échantillon à analyser.
- Dans 5 tubes contenant chacun 10ml de BCPL (D/C) + cloche de Durham, on ajoute 10ml d'échantillon à analyser.
- Dans 5 tubes contenant chacun 10ml de BCPL (S/C) + cloche de Durham, on ajoute 1ml de l'échantillon à analyser. Après l'homogénéisation, l'ensemble est incubé à 37°C pendant 24h à 48h.

• Lecture

La présence à la fois d'un trouble microbien, d'un virage de la couleur du milieu violet au jaune avec un dégagement de gaz dans les cloches de Durham (1/10^{ème} de volume total de la cloche) signifie un résultat positif : ce qui indique la présence de coliformes totaux.

Les résultats sont exprimés en nombre de coliformes /100ml selon la table de Mac Grady (Annexe).

➤ Test de confirmation :

- ✓ A partir de chaque bouillon BCPL positif, on repique 2 à 3 go

- ✓ Dans un tube de milieu indole mannitol (milieu Schubert) muni d'une cloche de Durham.
- ✓ Après homogénéisation, les tubes sont incubés à 44 °C pendant 24h.

- Lecture :

Sont considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois un trouble microbien, un dégagement de gaz dans les cloches (volume au moins égale au 1/10^{ème} de volume de la cloche), avec apparition d'un anneau rouge en surface après addition de 2 à 3 gouttes de réactif Kovacs, témoin de la production d'indole par *E. Coli*.

L'expression des résultats se fait selon la méthode de NPP, par référence à la table de Mac Grady (exprimés en germes/100ml d'eau analyser)

3.2.9.5. Recherche et dénombrement des levures et moisissures (AFNOR NF ISO 7954, 1987)

➤ Principe

L'isolement des champignons est réalisé par l'emploi d'un milieu sélectif dotés de propriétés antibactériennes : le milieu OGA (Gélose glucosée à l'oxytétracycline).

➤ Mode opératoire

- Préparation du milieu

- ✓ Faire fondre le milieu de base et le refroidir à 45°C.
- ✓ Ajouter à 10 ml du milieu de base 1 ml de la solution d'Oxytétracycline.
- ✓ Bien mélanger et couler en boîte de Pétri.
- ✓ Laisser solidifier sur paillasse couvercle fermé.

- Ensemencement et incubation

- ✓ Transférer à l'aide d'une pipette de 1 ml, à la surface de 3 boîte de Pétri contenant la gélose OGA, 4 gouttes de la prise d'essai.
- ✓ Répartir sur toute la surface à l'aide d'un râteau stérile.

Incuber les boîtes retournées (couvercle en bas) pendant 5 jours à 20-25°C.

- Remarque :
 - ✓ Opérer de la même façon et dans les mêmes conditions, avec le diluant (TSE), c'est-à-dire qu'il faut prendre quatre gouttes du diluant, les étaler avec un râteau à part et les incuber dans le même endroit que les boîtes tests, cette boîte constitue le témoin diluant.
 - ✓ Incuber telle quelle, une boîte du milieu utilisé, cette dernière sera incubée également telle quelle dans le même endroit et dans les mêmes conditions de température, elle constitue le témoin du milieu.
- Lecture et interprétation
 - ✓ La lecture et le dénombrement des levures et moisissures se fait quotidiennement et séparément car les moisissures se développent rapidement et peuvent envahir les colonies des levures.
 - ✓ Les colonies des levures sont brillantes, rondes et bombées, de couleur blanche avec une texture crémeuse, tandis que celles des moisissures sont épaisses et filamenteuses.
 - ✓ En tenant compte de facteur de dilution il faut multiplier le nombre trouvé par l'inverse de la dilution correspondante, faire ensuite la moyenne arithmétique, puis exprimer le résultat final en ml ou en g de produit à analyser.

3.2.9.6. Recherche de *Staphylococcus aureus* (NF V 08-057-1 : 2004)

➤ Mode opératoire

- Enrichissement dans milieu Giolliti Cantonii

Au moment de l'emploi, ouvrir aseptiquement le flacon contenant le milieu de Giolliti Cantonii pour y ajouter l'additif Téliurite de Potassium. Mélanger soigneusement. Le milieu est alors prêt à l'emploi.

- Ensemencement

A partir des dilutions décimales, porter aseptiquement 1 ml par dilution dans un tube à vis stérile.

Ajouter par la suite environ 15 ml du milieu d'enrichissement et bien mélangé le milieu et l'inoculum.

- Incubation

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

- Lecture

Seront positifs, les tubes ayant virés au noir. Pour s'assurer qu'il s'agit bien d'un développement de *Staphylococcus aureus*, ces tubes feront l'objet d'une confirmation par isolement sur gélose Chapman préalablement fondue, coulée en boîtes de pétri et bien séchées.

Les boîtes de Chapman ainsiensemencées seront incubées à leur tour à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Après ce délai, repérer les colonies suspectes à savoir les colonies de taille moyenne, lisses, brillantes, pigmentées en jaune.

3.2.9.7. Recherche des salmonelles :

Comme le nombre des salmonelles étant en général faible dans le produit à analyser, il est nécessaire de procéder à un pré-enrichissement par « BLMT » « 25 g de l'aliment », les flacons sont incubés à 37° C pendant 18 à 24 heures, ensuite à un enrichissement sur milieu SFB qui sera incubé à 37° C pendant 24 h, enfin et pour réaliser leurs isolements on utilise le milieu sélectif qui est la gélose HEKTOEN ou l'incubation est réalisée à 37°C /24h.

3.2.9.8 La conservation des couscous formulés

- Les trois formulés des couscous et le témoin conditionné dans des sacs en carton (emballage spécifique pour les pâtes alimentaires) .

- Le couscou formulé conservé dans 2 étuves l'un de température de 45°C et l'autre de 37°C.

- Suivi et contrôlé les trois couscous formulés durant une période de 4 mois

En suivant :

- La teneur en protéine
- La granulométrie
- développement de moisissures et levures

Chapitre4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

4. 1. Le couscous obtenus

L'addition de la Spiruline au couscous artisanal a permis d'obtenir trois type couscous

La figure 4.12 indique les résultats obtenus ;



Figure4.12 : Les différents types des couscous fabriqué (photo original)

Les échantillons de couscous enrichi en spiruline, présentent des caractéristiques acceptables. Leur qualité organoleptique est appréciée par leur aspect (couleur) et par leur qualité culinaire.

D'une manière générale, le couscous enrichi en spiruline présente une couleur différente de celle de la semoule de blé dur. L'appréciation de la tenue à la surcuisson est évaluée par le gonflement ou capacité de fixation d'eau après cuisson (Figure 4.12).

La coloration est d'autant plus foncée que le taux d'incorporation est élevé, notamment dans le couscous enrichi à raison de 1%, 2 % et 5% en spiruline.

Après cuisson, les grains de couscous enrichi à 1%, 2% et 5% se collent entre eux et forment des petits agrégats, et le volume de ces grains est plus petits par rapport au volume des grains de couscous témoin (0%) qui sont volumineux. En effet, plus le taux d'incorporation augmente, plus les grains de couscous sont moins volumineux et se collent entre eux.

4.2. Composition biochimique des matières premières

4.2.1. L'eau de processus :

Les résultats des analyses physico –chimiques de l'eau de processus sont présentés dans le tableau 4.9.

Tableau 4.9 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de processus.

Paramètre	T°C	pH	TA (°F)	TAC (°F)	TH (°F)
Résultats	22°C	7,45	0	25	13,88
Normes	-	6,5 – 8,2	0	< 26	12– 15

Normes : normes exigées par J.O.R.A. article N°35 daté du 27 Mai 1998

Les résultats obtenus indiquent que tous les paramètres déterminés pour nos échantillons sont conformes aux normes établies par J.O.R.A.(1998)

4.2.1. Résultats des analyses physico-chimiques de la spiruline

La composition physico-chimique en pourcent par rapport à la matière sèche (MS) de la poudre de spiruline étudiée est donnée dans le tableau, les résultats obtenus représentent la moyenne de trois répétitions.

Tableau 4.10 : Résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de spiruline étudiée.

Paramètres analysés	Teneur en %MS
pH	7,64
Humidité	12,98
Matière sèche	87,02
Protéine	58,91
Cendre	8,42
Matière organique	91,58
Matière grasse	1,62

Cellulose brute	0,51
Glucide totaux	14,77
Valeur énergétique (Kcal/100g)	309,3

4..2.1.1.Le pH

La poudre de spiruline étudiée présente un pH alcalin qui est de 7.64, il est conforme aux normes françaises qui recommandent une valeur variant entre 7 et 9.

4..2.1.2.Humidité et matière sèche

Le taux d'humidité de la spiruline étudiée est de 12,98%, ce taux ne correspond pas à l'intervalle d'humidité des produits secs préconisé par Espirard (2002) qui est de 4 à 6%, ce qui peut influencer la stabilité de la spiruline lors du conditionnement.

Par contre, le résultat trouvé concorde avec celui de Lounici (2010) et Benahmed-Djilali (2011) [82,83] qui ont annoncés des teneurs de 13,62% (pour la souche provenant de la région de Tamansasset) et 14,34% (pour une souche provenant de Burkina-Faso) respectivement. Une teneur largement inférieure à 5,4% a été trouvée par Branger et *al.* (2003) [55] pour une souche de spiruline malgache.

L'humidité élevée de la spiruline étudiée est sous réserve les conditions de séchage. Les produits secs doivent être conservés dans des sacs hermétiquement fermé et stockés à l'abri de l'humidité, pour éviter toutes influences dues aux facteurs extérieurs.

Par ailleurs, ces résultats montrent que la spiruline est très riche en matière sèche avec un taux de 87,02%, d'autres auteurs [157] ont annoncé une valeur très proche qui est de 88,08%.

4..2.1.3.La teneur en cendres et la matière organique

La poudre de la spiruline étudiée renferme un taux relativement élevé en cendres estimé à 8.42 valeur qui est proche à celle trouver par [82,83]

Jourdan (2006) [142] annonce que le taux des cendres dans la spiruline ne doit pas dépasser 10%, en se référant à cette dernière recommandation, l'échantillon de

spiruline étudié inférieur légèrement. En revanche, la teneur trouvée se range bien dans l'intervalle de 8 à 13% donné par Moorhead et *al.* (2006) [158].

Kargin-Yilmaz (2012) [159] a montré qu'il existe une relation proportionnelle entre le taux de cendres et la température, plus cette dernière augmente plus la teneur en cendres augmente.

Un autre facteur qui peut influencer la teneur en minéraux de la spiruline, il s'agit du pouvoir d'absorption des métaux par cette souche dans les milieux de culture utilisés comme cela est souligné par plusieurs auteurs [. 55, 160, 161, 162,163]

Nous remarquons également que la spiruline est riche en matière organique avec une valeur de 91,58 %/MS.

4..2.1.4.Protéines

Du point de vue quantitatif, la teneur en protéine de la spiruline estimée à 58.91%MS est impressionnante. Elle dépasse toutes les sources de protéines alimentaires connues, elle est classée dans la catégorie des concentrés protéiques.

La teneur trouvée dans le présent travail est inférieure à celles données par la littérature à savoir Benahmed-Djilali (2011) [83] et Branger et *al.* (2003) [55] avec des valeurs de 61,74% et 61,30%, respectivement. Par ailleurs, doit être supérieure à 50%, la teneur minimale préconisée par la norme française (Arrêté N°13 du 21/12/1979) qui est de 50%, cette variation dans le taux des protéines peut être expliquée par la méthode séchage appliquée qui permet de préserver le taux de la matière organique.

Van Rijn (1986) [164] note que les variations du contenu en protéines peuvent être de l'ordre de 10 à 15% selon le moment de la récolte par rapport à la photopériode, les valeurs les plus fortes étant obtenues au début de la période lumineuse.

La consommation d'une à deux dizaines de grammes par jour, représente environ un quart à un tiers des besoins quotidiens en protéines pour une personne de 60 kg, si l'on se base sur les apports quotidiens recommandés, soit 0,7 à 1 g par kg de poids corporel [165]

Notons toutefois que dans le cas de petits enfants souffrant de malnutrition, il ne serait pas irréaliste d'inclure jusqu'à 10 g de spiruline dans la ration quotidienne, ce qui peut représenter, suivant le poids de l'enfant, plus de 50% de l'apport protéique recommandé [165].

4..2.1.5.Cellulose brute

La souche de spiruline étudiée est pauvre en cellulose, le taux a été estimé à 0,51%MS. Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Pierlovis (2007) [67], qui a rapporté un taux minimal de 0,1% et maximal de 0,9%. Cette faible teneur de la spiruline en cellulose est un avantage pour l'incorporation de cette dernière en alimentation humaine, du fait que la cellulose est un composé non digestible par l'Homme.

4..2.1.6. Matière grasse

Le résultat obtenu montre que la poudre de spiruline étudiée renferme une teneur très faible en matière grasse qui est de 1,62 %MS.

La teneur trouvée dans le présent travail se rapproche à celles données par certains auteurs, qui varient de 0,5 à 1,61 % [82,166]. Cette teneur faible en lipide permet de classer la spiruline parmi les aliments à faible apport calorique.

Les auteurs expliquent que les différences de teneur en lipides données entre telle et telle « espèces » de spiruline doivent donc être prises avec la plus grande réserve, ces valeurs sont probablement bien plus liées aux conditions de croissance de chaque échantillon qu'à d'hypothétiques spécificités génétiques [35]

4..2.1.7.Glucides totaux

Les glucides de la poudre de spiruline analysée sont de l'ordre de 14,77 %MS, cette valeur est très proche à celle de Lounici (2010) [83] (16,25)

D'autres auteurs ont trouvé des valeurs variant entre 15 et 25% [55, 142,158]

4..2.1.8.La valeur énergétique

L'énergie brute de la spiruline étudiée est de 309.3 Kcal/100g, cette valeur est comparable à celle donnée par Branger et *al.* (2003) [55] qui est de 346 Kcal/100g, par contre elle est largement inférieure à la valeur annoncée par Jourdan (2006) [142] qui est de 499,18 Kcal.

La valeur trouvée dans le présent travail montre que la spiruline est riche en énergie. Elle est comparable aux biscottes (389 Kcal), au sucre raffiné (385 Kcal), fromage fondu (293 Kcal) et au grain de soja (403 Kcal), par contre elle dépasse largement le lait de vache (64 Kcal), les pommes de terre fraîches (76 Kcal), tandis que, sa valeur énergétique est faible par rapport aux chocolats au lait (520 Kcal) et la margarine (698 Kcal). [88]

4..2.2. Résultats des analyses physico-chimiques du couscous et le semoule

4..2.2.1 le semoule

Tableau 4.11 : la composition de la semoule analysé

Paramètres analysés	Teneur en %MS	Les normes
Humidité	13,91	14 (NA)
Matière sèche	86,09	-
Protéine	13,21	10 -1 5 (NA)
Cendre	0,86	0,8 - 1,10 (NF)
Acidité grasses	0,0433	0,055 (NA)
Gluten sec	11,53	11-13
Gluten humide	23,81	100%

4..2.2.1 1. La teneur en eau

La mesure de la teneur en eau est définie comme étant la quantité en gramme d'eau rapportée à 100 g de substances sèches, elle constitue pour les céréales et ses dérivées une opération capitale qui présente trois intérêts :

- Un intérêt technologique qui détermine la conduite rationnelle des opérations de récoltes, de séchage, de stockage et de transformation industrielle.
- Un intérêt analytique qui rapporte les résultats de toutes les analyses à une base fixe (matière sèche)
- Et enfin un intérêt commercial et réglementaire

Selon les résumé dans le tableau 4.11; la valeur de la teneur en eau obtenus (13,91%) est conformes aux normes (<14%).

Selon Kiger (1967) [167], l'humidité est très variable en fonction d'une part, de la saison d'autre part, de la quantité d'eau ajoutée au blé avant mouture.

Selon Feillet (2000) [2], l'humidité est un facteur crucial dans l'évolution des phénomènes biologiques, le contrôle de l'humidité des semoules permet de minimiser le risque d'altération lors de conditionnement et du stockage, plus la teneur en eau est faible plus la qualité des semoules est meilleure. Donc notre semoule est de bonne qualité

4..2.2.1 2.La teneur en cendre

D'après le tableau 4.11 la semoule de blé dur présente une teneur en cendre de 0.86%, ses résultats sont conformes aux normes (0,8 – 1,1 %).

La mesure de la teneur en cendres a un intérêt essentiellement réglementaire, sans aucune influence sur la valeur boulangère et pastière. Elle présente plutôt un intérêt dans l'appréciation du degré de pureté R qui est le rapport entre le taux de semoule et celui du blé de départ. Il doit être inférieur à 0,5 % pour les semoules [167]

Selon le Codex stan 202-1995, [112] ce taux ne doit strictement pas dépasser 1,1 % qui peut avoir un effet défavorable sur la qualité réglementaire.

Par ailleurs, ces résultats montrent que le semoule est très riche en matière sèche avec un taux de 86.09.

4.2.2.1 3. Teneur en protéines

D'après le tableau 4.11, la semoule de blé dur présente une teneur en protéine de 13.21%, ses résultats sont conformes aux normes (10 -15 %).

La teneur en protéines est un critère important d'appréciation de la qualité nutritionnelle du produit fini. [167]

Selon Guezlane (1993) [115] , les protéines du blé dur apportent, sur le plan qualité et quantité, un rôle important et fondamental dans l'expression de la qualité culinaire. En effet, la formation d'un réseau de gluten confère à la semoule des propriétés rhéologiques.

4.2.2.1 4. Acidité grasse des semoules

La norme Algérienne exige une acidité grasse inférieure à 0,055 g H₂ SO₄ /100g MS pour les céréales et ses dérivées

L'acidité grasse de la semoule de notre étude est de 0,0433 g H₂SO₄/100g MS qui est inférieure par rapport aux normes.

L'acidité grasse est un indicateur de l'état de conservation du blé, de la semoule et des pâtes alimentaires. En effet au cours de la conservation, les lipides ont tendance à se dégrader en se transformant en acides gras libres qui peuvent altérer la qualité du produit [146]

4.2.2.1 5. La teneur en gluten (gluten sec et humide)

Le gluten représente sur le plan qualité et quantité un intérêt principalement technique. En effet il est constitué essentiellement par la fraction insoluble des protéines formées au cours de pétrissage par des liaisons désulfures entre les gluténines et les gliadines présentant une caractéristique de pouvoir former un réseau viscoélastique dont les propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de tonicité ont une influence sur le comportement du couscous .

De plus, la force du gluten influe sur la qualité culinaire du couscous, elle permet donc son gonflement au cours de la cuisson par la formation d'un réseau qui emprisonne les grains d'amidon afin qu'ils ne soient pas dissous dans l'eau [146]

Les résultats acquis sont conforme aux normes (11 – 13%), on observe que le pourcentage du gluten sec de la semoule de blé dur (11.53%)

Selon Godon, (1991) [106], la teneur en gluten sec peut varier de 10 à 17%, mais la valeur optimale pour la fabrication des pâtes alimentaires est de l'ordre de 13%.

les travaux de Matveef [169] montre que les variétés de blé présentant une teneur en gluten sec inférieure à 11 % MS sont considérées comme des blés de force et toutes variétés présentant une teneur comprise entre 11 et 15% MS sont considérées comme blés de bonne qualité pastière et les blés avec une teneur > 15 % comme ayant une très bonne valeur pastifiante. En revanche la teneur en gluten humide est de 23,81 %, elle représente une masse viscoélastique.

C'est deux indices sont fortement liés à la taille des particules de la semoule analysée, plus la granulométrie diminue, plus le gluten humide et le gluten sec augmente.

4.2.2.1 6. Le coefficient d'hydratation (CH)

La semoule de blé dur utilisé dans notre étude présente un coefficient d'hydratation 51.57% est conforme aux normes (50 – 70 %).

4.2.2.2. Le couscous

4.2.2.2.1. La teneur en eau

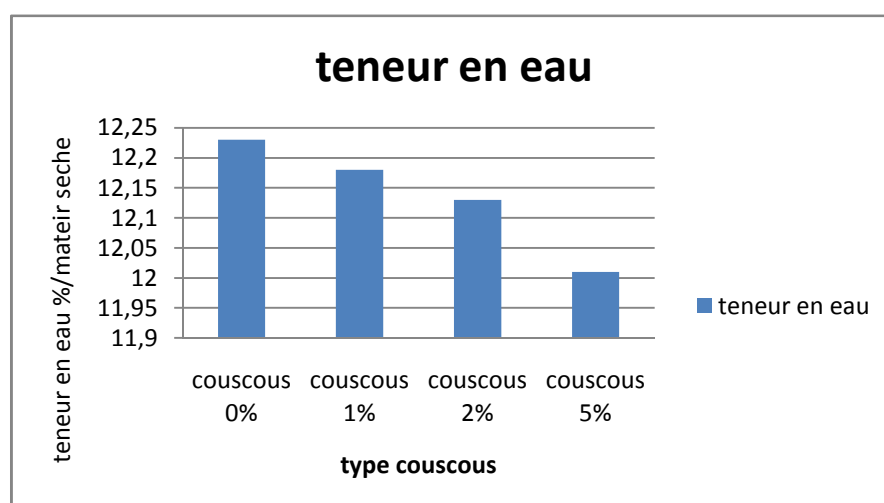


Figure 4.13 : la teneur en eau des 4type du couscous.

D'après les résultats d'analyses obtenues sur les différentes formules de couscous on note que l'humidité varie de 12,01% à 12,23%. Cette variation due en 1er lieu à l'humidité initiale des semoules à la quantité d'eau utilisée pour le roulage de couscous (sachant que le couscous témoin est pris un peu plus d'eau que les autres formules, ainsi qu'au degré de séchage mais, sont des valeurs inférieures au seuil limite cité dans le Codex stan 202-1995 [111] (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.

D'après la figure 4.14, la teneur en eau des échantillons étudiés est conforme aux normes. Et en remarquant que Le couscous 5% moins humide (12,01) par rapport aux autres couscous.

4.2.2.2.2. La teneur en cendres

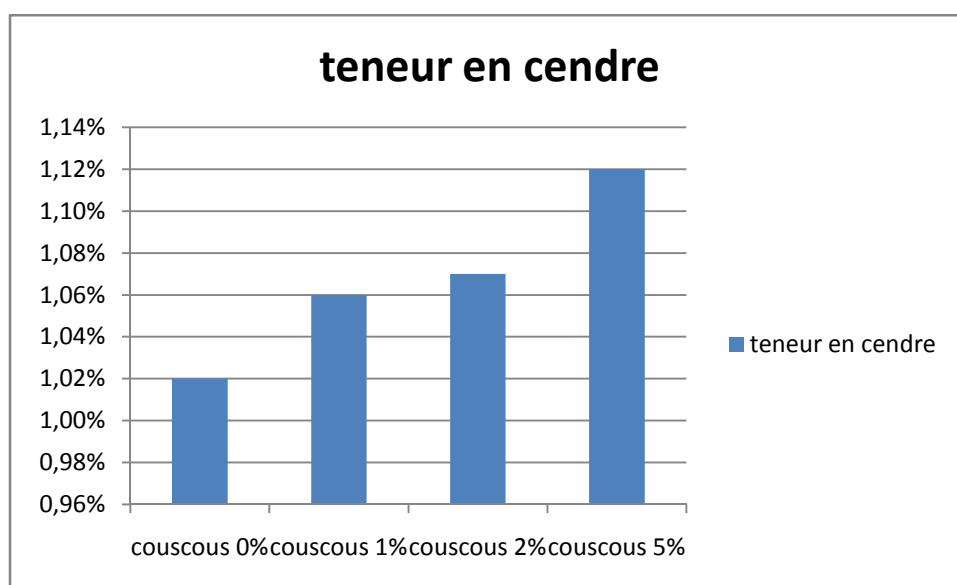


Figure 4.14 : La teneur en cendres du différent type de couscous

Selon le codex stan 202-1995, [111] le taux des cendres ne doit strictement pas dépasser 1,3 % qui peut avoir un effet défavorable sur la qualité réglementaire.

Les résultats d'analyses de cendres obtenus sur les différentes formules de couscous montrent que le taux de cendres s'augmente progressivement avec l'incorporation de la spiruline et le couscous 5% présente le taux plus élevée (1,12%), valeur inférieure à cette valeur [124] (1,3%) pour le couscous courant de

blé dure .Alors on enregistre la valeur la plus faible pour le couscous témoin (1,02%). Mais reste dans les normes. (1,1).

4..2.2.2.3.Les lipides

Dans les échantillons de couscous testés, la quantité de lipides mesurée équivaut à 0,42 % pour le couscous témoin

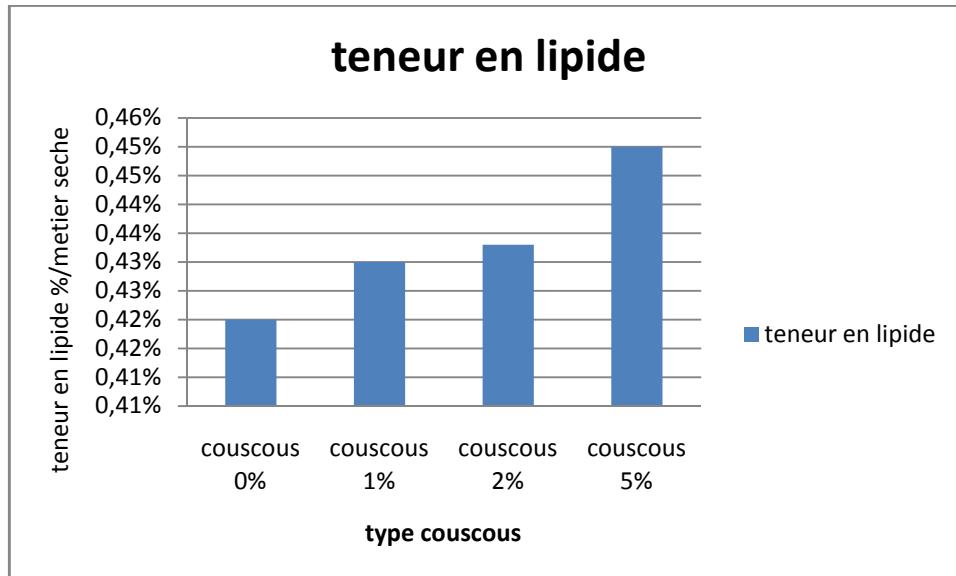


Figure 4.15 : la teneur en lipides du différent type de couscous

Le contenu en lipides semble quand à lui supérieur dans la formule de 5% (0,45%).A noté que l'incorporation de la spiruline seul n'améliore pas considérablement le taux de lipides ou on à enregistré des valeurs de: 0,433% pour le CB1%, 0,43 pour le CB 2% et 0,42 pour CT cela s'explique par le faible pourcentage d'incorporation de la spiruline (1% et 2%). Ces résultats reste proche de la norme (0,64 %) citée par Souccar [170]

4..2.2.2.4.L'acidité grasse

Les résultats obtenu indiquent que les différents couscous ont une acidité grasse qui demeure dans la norme (0,055 H₂ SO₄/100MS). Elle est entre 0,044 et 0,047, ce qui indique que ces échantillons peuvent être stockés et conservés dans des conditions favorables d'humidité et de température convenables. Les résultats obtenus sont conformes à la norme (NF.ISO.7305).

Toutefois, nous notons une légère élévation de l'acidité grasse des échantillons de couscous avec l'augmentation de taux d'incorporation et les résultats restent tous dans les normes en vigueur.

L'acidité grasse est un indicateur de l'état de bonne conservation du blé, semoule et en effet au cours de la conservation, les lipides ont tendance à se dégrader en se transformant en acides gras libres [141,194].

4.2.2.2.5. La teneur en protéines totales

D'après la figure 4.16, la teneur en protéines du couscous témoin (0%) et 1% de la spiruline, 2 et 5% de la spiruline est conforme à la norme Algérienne (11-15%). Elle est respectivement de 12,34% et 12,48%, 12,52 % et 12,67%.

Il a été montré que le taux de protéines de couscous dépend d'une part de la qualité de ces composants biochimiques présents dans la semoule de blé dur et ayant servis à fabriquer un couscous de bonne qualité. [5, 120,194]

La teneur en protéines est un critère important d'appréciation de la qualité nutritionnelle du produit fini. Les protéines du blé dur apportent, sur le double plan quantitatif et qualitatif, un rôle important et fondamental dans l'expression de la qualité culinaire du couscous [130]

En effet, l'incorporation de spiruline sous forme de poudre à la semoule de blé dur a permis de corriger les défauts des protéines céréalières en donnant un meilleur équilibre en acides aminés, car la spiruline renferme une quantité de acides aminés bien identifiés. (Quatre s'avèrent être présents à des teneurs importantes glycine, arginine, valine et la lysine) [171,194]

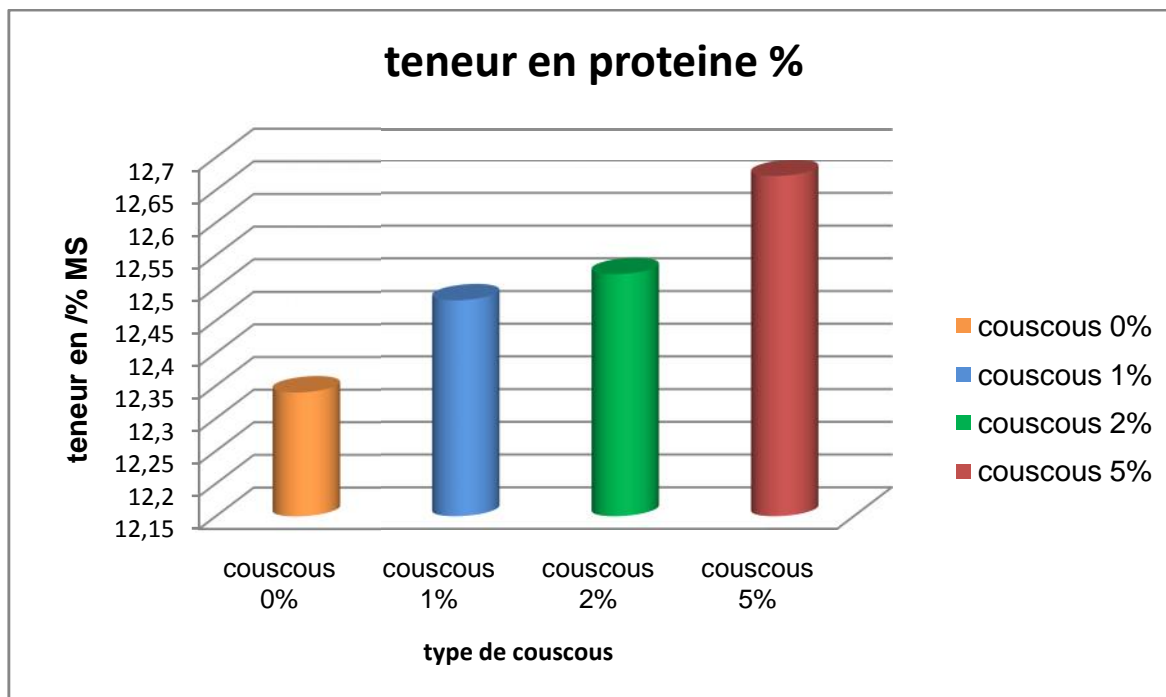


Figure 4.16 : la teneur en protéine du couscous artisanal à différents taux d'incorporation de la spiruline (0% et 1% ,2 et 5%).

4..2.3.La qualité technologique des couscous

4..2.3.1.La granulométrie

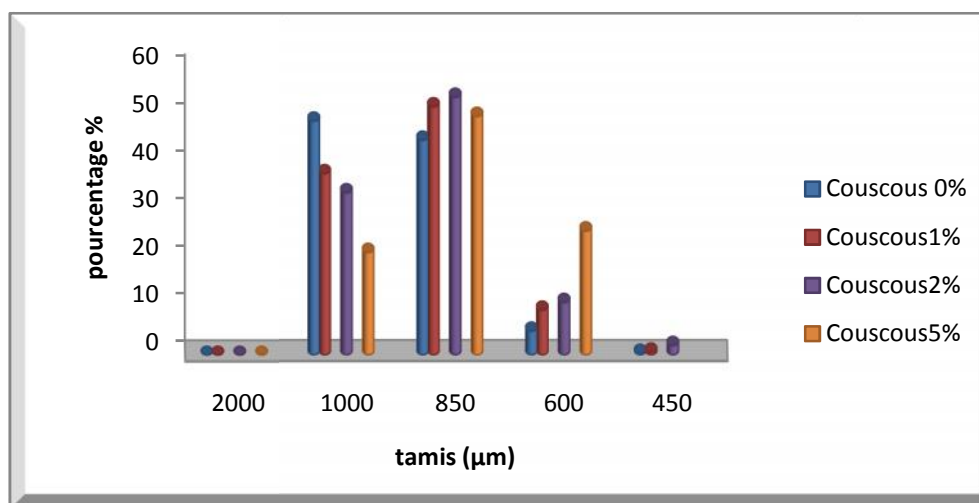


Figure 4.17 : La granulométrie du couscous artisanal à différents taux d'incorporation de la spiruline (0% et 1% ,2 et 5%).

D'après la figure 4.17 ; le couscous étudiée à une granulométrie des particules plus ou moins homogène qui se situe entre 1000µm et 450µm, néanmoins pour la

fabrication de Couscous il est nécessaire de maintenir un taux bas de semoule fine pour favoriser le roulage du Couscous.

L'analyse granulométrique permet de caractériser la répartition en taille et en pourcentage des particules qui composent une Semoule, la détermination de la taille des particules est un critère déterminant de l'homogénéité des particules de semoule. La granulométrie peut influencer la vitesse d'hydratation de la semoule.

La granulation est variable tout dépend des exigences du commerciale.

La différence granulométrique entre nos échantillons peut être expliquée par les caractéristiques de la matière première et les conditions opérationnelles au stade de roulage et le choix d'ouverture des mailles du plansichter (stade de tamisage).

4..2.3.2. Indices de coloration

La coloration des produits à l'état sec constitue un des critères d'achat, le consommateur recherche à priori des céréales et produits dérivés de belle couleur. De ce fait, la législation interdit toute adjonction de colorant, la couleur ne peut provenir que de la semoule et par conséquent du blé dur.

La coloration d'un couscous fait à base de semoule de blé dur est la somme d'une composante jaune que l'on souhaite la plus élevée possible et d'une composante brune qui doit être la plus faible possible. L'indice de rouge est considéré comme indésirable dans l'aspect du couscous à l'état cru. D'après Laignelet et *al.* (1972)[172] ainsi que Kobrehel et Abecassis (1985) [173], la couleur est liée d'une part, à la teneur finale en pigments caroténoïdes et d'autre part, aux réactions de brunissement enzymatiques (réactions de peroxydation des acides gras insaturés contenus dans la semoule) et non enzymatiques.

Les résultats obtenus sur les indices colorimétriques sont représenté dans la figue ci-dessus, on a :

- L indice de jaune pour les 4 type de couscous est d'un intervalle de 31.591 a 39.995%.cet indice set élevé indiquât la présence auparavant d'une teneur importante de pigments de caroténoïdes dans la semoule de blé dur

portant une augmentation lors de l'addition de la spiruline, elle même très riche en ces derniers

➤ L'indice de jaune augmente avec le pourcentage de l'incorporation de la spiruline ,31.591pour le couscous témoin et 34,521 % pour le couscous 1%, 34,985 % pour le couscous 2 % et 39,995 % pour le couscous de 5% de la spiruline.

Selon Guarda *et al.* (2004) [174] 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.

➤ L'indice de brun est élevé dans les 4 formule du couscous ,pour le couscous témoin (0%) est de valeur 19,758% et 30,142% pour le couscous 1% de ls spiruline , 31,075 pour le couscous 2% et 32,873 pour le couscous 5% de ls spiruline ,on remarquant que l'indice de brun augmente avec le pourcentage de l'incorporation de la spiruline. Ce caractère variétal peut être influencé par l'addition de la Spiruline ou bien par les techniques mis en œuvre lors de la préparation du produit. En revanche l'indice de rouge augmente par rajout de la spiruline ou bien par l'effet du traitement thermique qui provoque une nuance orange nuisant à l'aspect du produit cru, cette couleur reflète la présence de sous produits de la réaction de Maillard.

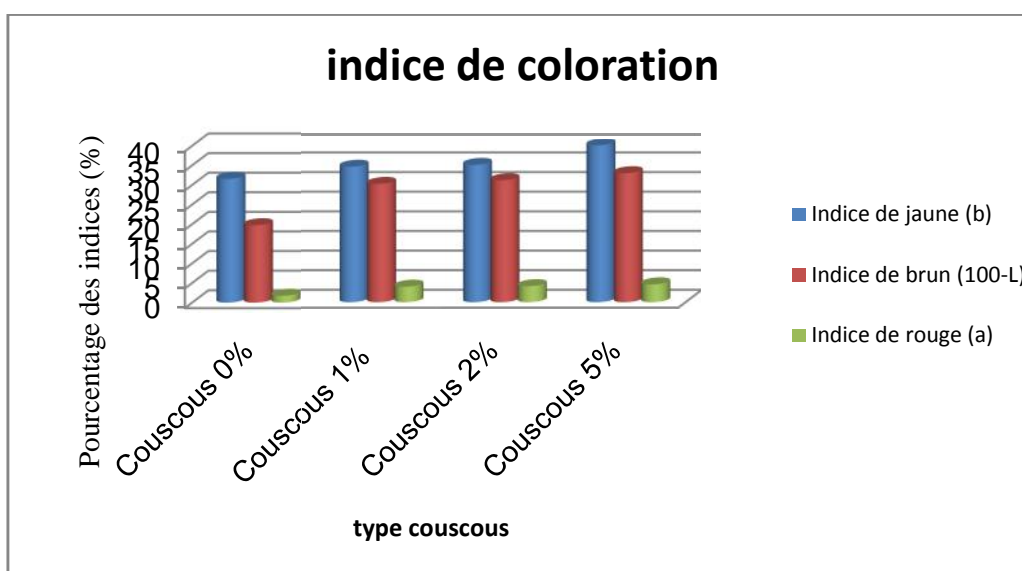


Figure 4.18 : l'indice de coloration du couscous selon le taux de l'incorporation de la spiruline.

4.2.4. La qualité culinaire des couscous

4.2.4.1. Gonflements à froids et a chaud

La cinétique du gonflement à froid (25°C) est comprise entre 48 à 76% pour le couscous témoin (0%), entre 48 à 75 % pour le couscous à (1%) et entre 49 à 75% pour le couscous de (2%), 50 a 68 % pour le couscous de (5%) d'incorporation de la spiruline. Nous remarquons que le couscous témoin et le couscous 1% gonfle plus rapidement aussi absorbe plus d'eau et continue à gonfler jusqu'à 50 mn contrairement au couscous de 2 et 5% d'incorporation de la spiruline qui sont saturés après 40mn.

La cinétique du gonflement à chaud (100°C) est comprise entre 93 à 107% pour le couscous témoin, entre 90 à 100 % pour le couscous à (1%) et entre 91 à 100% pour le couscous à (2%) ,entre 91 a 98 % d'incorporation de la spiruline . Nous remarquons que la vitesse de gonflement à chaud est plus rapide pour les quatre échantillons du couscous artisanal et le maximum est atteinte à partir de 10 mn (Figure n°).

La vitesse de gonflement du couscous de 1 %, 2% et 5% diminue avec l'augmentation du taux d'incorporation de la spiruline, car cette dernière n'absorbe pas d'eau, le volume des particules du couscous diminue avec l'augmentation du pourcentage de la spiruline

En comparant le gonflement à froid (25°C) de l'échantillon part rapport au gonflement à chaud (100°C), nous remarquons que le gonflement à chaud est plus rapide, ceci s'explique par le bouleversement de la structure native de l'amidon en se gélatisant à 100°C et devient plus hydrophile et accroît la capacité de gonflement du couscous [175]

Des différences dans la nature de l'amidon et dans le degré de gélatinisation des différentes matières premières seraient à l'origine de cette différence de comportement de gonflement entre les échantillons de couscous et entre les températures de 25°C et 100°C.

Debbouz et Donnelly (1996) [174] confirment que la quantité d'eau absorbée augmente avec le degré de gélatinisation de l'amidon. Egalement, la force de

gonflement indique la capacité de l'amidon à s'hydrater sous des conditions spécifiques (temps / température) [175]. Le comportement de gonflement dépend aussi de l'espèce botanique et du type cristallin de l'amidon natif [176].

La capacité de gonflement du couscous à l'eau est un test souvent pratiqué dans les usines pour contrôler la qualité des produits finis et nous renseigne sur la capacité d'absorption d'eau du couscous. [126]

Dahoun-Lefkir (2005) [139] a souligné que le roulage manuel permet l'obtention de grains de couscous compacts et donc de masse volumique élevée, ce qui permet des gonflements plus importants.

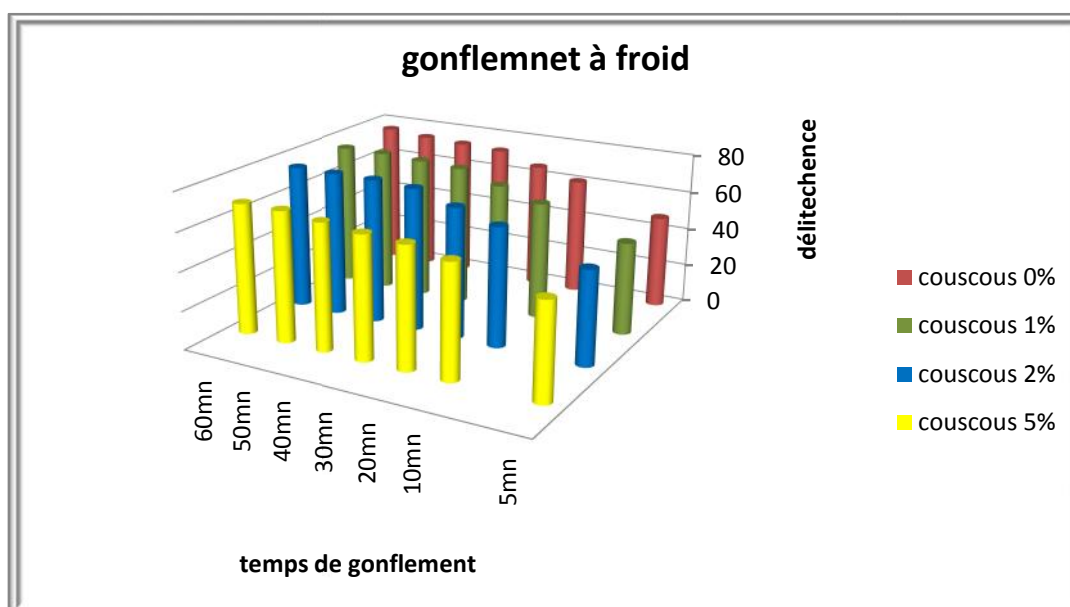


Figure 4.19 : Le gonflement à froid du couscous artisanal à différents taux d'incorporation de la spiruline (0% et 1% ,2 et 5%).

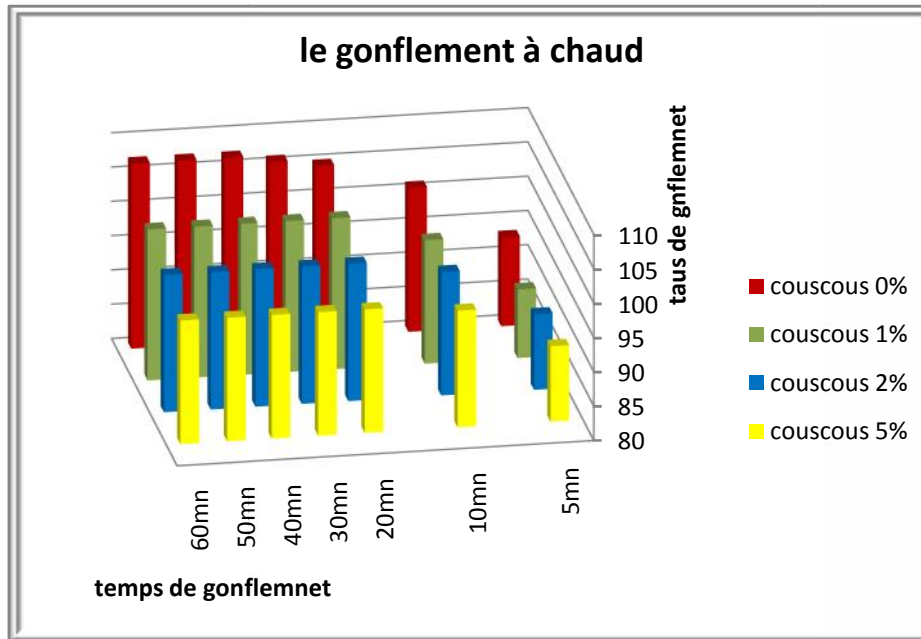


Figure 4.20 : Le gonflement à chaud du couscous artisanal à différents taux d'incorporation de la spiruline (0% et 1% ,2 et 5%).

4..2.4.2. La délitescence

D'après la figure 4.20, la délitescence varie entre 1,53 à 1, 83% pour tous les pourcentages d'incorporation de la spiruline dans le de couscous à l'état cuit, et de 5.2 à 5.3% pour tous les pourcentages à l'état cru. Ces valeurs trouvées sont en rapport avec le procédé de fabrication de ces échantillons de couscous. En effet, le couscous témoin présente une bonne tenue à la cuisson non collant et peu délitescents avec un degré d'individualisation des grains satisfaisant.

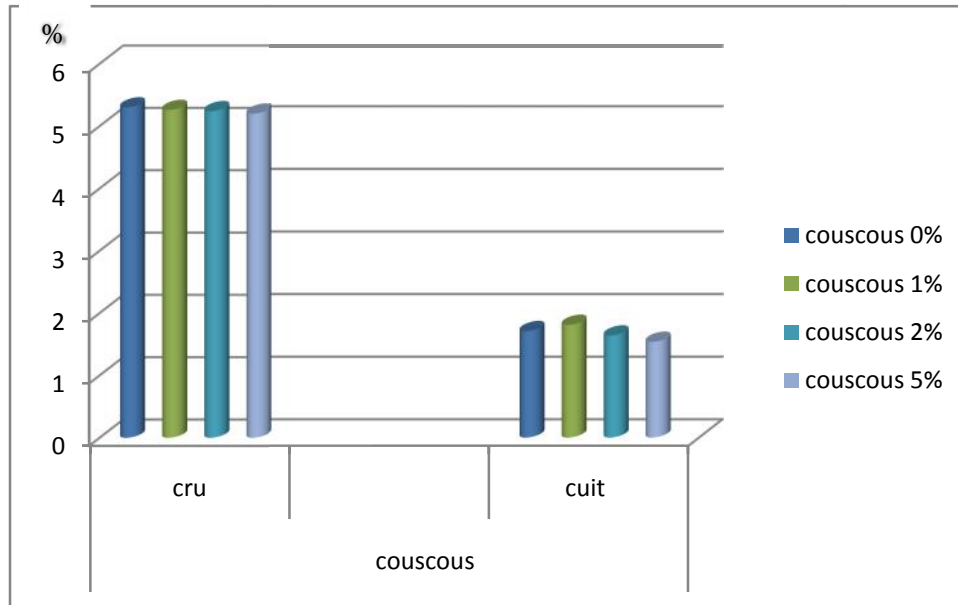


Figure 4.21 : La délitescence des échantillons de couscous artisanal à l'état cru et cuit à différents taux d'incorporation de la spiruline (0% et 1%, 2 et 5%).

La délitescence nous renseigne sur l'état de désagrégation du couscous, elle constitue un facteur important pour la détermination de la qualité culinaire du couscous et représente le même degré que le collant, un critère fondamental de la qualité organoleptique du couscous cuit. [131]

La délitescence augmente nettement avec la diminution de la taille des particules de couscous. Ceci peut être expliqué par la force de cohésion entre les particules de la semoule qui augmente avec l'augmentation de la taille des grains de couscous. Yettou (1998) [131] a souligné que la diminution de la délitescence en fonction de la taille des grains de couscous se traduit par une augmentation de la force de cohésion des particules de semoule avec l'augmentation du diamètre des granules de couscous.

Les travaux de Yousfi (2002) montrent que le roulage et la précuisson traditionnels sont mieux adaptés par rapport aux traitements industriels à la fabrication d'un couscous de qualité. Par ailleurs, le couscous artisanal présente une délitescence plus importante que le couscous industriel.

Guezlane [115] montre que l'augmentation du temps de roulage renforce la liaison des particules de la semoule hydratée formant le granule de couscous. Ainsi,

Lefkir et Sehili (2000) [177] ont souligné que l'utilisation d'un taux d'hydratation élevé des semoules contribue à diminuer le degré de désagrégation des particules de couscous cru.

4..2.4.3.Le comportement de l'amidon

L'indice de gonflement (IG) permet d'apprécier le degré de gélatinisation de l'amidon. Il est défini par le poids du culôt rapporté au poids initial de l'échantillon diminué du poids de l'extrait sec. Les IG obtenus sont de 346,62% pour le couscous à 0%, 353.45% pour le couscous à 1%, 356,73% pour le couscous à 2% et 377.02% pour le couscous 5%.

L'indice de solubilité (IS) permet d'apprécier le degré de désagrégation de l'amidon. Il est défini par le poids de la substance dissoute de l'échantillon. Les IS obtenus sont respectivement de 7,38% et 7,52%, 7,59 % et 5.80 % pour le couscous de 0% et 1%,2 % et 5% de taux d'incorporation de spiruline.

L'indice de solubilité dans l'eau est mesuré comme quantité des solides qui sont solubilisés pendant l'immersion d'un échantillon de couscous dans un excès d'eau, la quantité de matière soluble dans l'eau est liée avec le collant de couscous. les valeurs basses de l'indice de solubilité dans l'eau sont indicatives des produits de haute qualité [178]. Les valeurs de l'indice de solubilité dans l'eau s'étendent entre 4 et 16 %.

L'indice de gonflement correspond à la capacité d'absorption d'eau par le couscous pendant la cuisson. Il est mesuré par les changements du volume des particules de couscous une fois immergé dans l'eau froide (à 25°C) ou chaude (à 100°C). Les valeurs élevées du gonflement de couscous sont indicatives d'un produit de haute qualité [178]. Ces valeurs sont de l'ordre de 280-320 ml d'eau/100 g de couscous à 25°C, et de 380-410 ml d'eau/100 g de couscous à 100°C.

Selon Guezlane, [115], le comportement de l'amidon se traduit pendant la préparation et la cuisson des pâtes alimentaires et du couscous, par solubilisation ou gonflement. La qualité d'une pâte est corrélée à la quantité d'amylose présente dans l'eau de cuisson (IS). Plus la teneur en amylose solubilisé est élevée plus l'amylopectine sera présente à la surface des particules, donnant par conséquent

des propriétés de collant. Sur le plan technologique, toute opération susceptible de réduire le gonflement et/ou la solubilisation de l'amidon devrait améliorer la qualité culinaire des pâtes ou du couscous.

4.2.4.4. Le test de cuisson

D'après le tableau, nous observons une diminution de gonflement ou de capacité d'absorption d'eau donc une diminution du poids final des échantillons de couscous enrichis en spiruline (1 %, 2% et 50%) part rapport au couscous témoin (0%), la capacité d'hydratation devient de plus en plus faible avec l'augmentation du taux d'incorporation de la spiruline. Par ailleurs, le temps de cuisson est de 20min pour les 4 types de couscous.

Tableau 4.12: Résultats des essais de cuisson des échantillons de couscous analysés.

Couscous	Témoin à 0%	Couscous à 1%	Couscous à 2%	couscous 5%
Temps de cuisson (mn)	20	20	20	20
Poids initial(g)	50	50	50	50
Poids final(g)	140	135	129	118
Granulation observée	Uniforme	Uniforme	Uniforme	Uniforme
Le gonflement	Très bon	Très bon	bon	moins bon
Comportement à la Réhydratation	Non collant	Moins Collant	collant	très collant

Le couscous témoin (0%) et le 1% présente des propriétés très appréciés, il n'est pas trop collant, avec un très bon gonflement et le degré d'individualisation des grains est satisfaisant, contrairement au couscous de 2% et 5% d'incorporation de la spiruline

Le temps optimum de cuisson du couscous selon les travaux de Yousfi et Derouiche [114,120] est le temps nécessaire pour que les grains soient tendres sans qu'ils soient collants ou pâteux.

Selon Guezlane [115], un bon couscous doit absorber deux fois son poids

d'eau, pendant la cuisson et conserve une certaine fermeté et viscoélasticité, et ces grains doivent restés bien individualisés sans se déliter, ni se coller entre eux.

4.3. Résultats des analyses microbiologiques

Les résultats des analyses microbiologiques des différents échantillons sont comme suit :

4.3.1. La spiruline

Les résultats des analyses microbiologiques de la spiruline exprimés en nombre des UFC/g (unité formant colonies) sont représentés dans le tableau 4.13.

Tableau4.13.: Résultats des analyses microbiologiques de la spiruline utilisée.

Germes dénombrés	Nombre d'UFC/g	Normes françaises (Arrêté du 21/12/1979) (UFC/g)
Germes aérobies mésophiles totaux	Abs	100 000
Coliformes totaux	Abs	-
Coliformes fécaux	Abs	10
Clostridium sulfuto-réducteurs (CSR)	Abs	100
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	100
Levures	Abs	-
Moisissures	100	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs
Salmonelles	Abs	Abs

Les germes témoins de contamination entérique recherchés sont les coliformes totaux et fécaux et les Clostridium sulfito-réducteurs. Ces germes peuvent contaminer la spiruline au cours des manipulations nécessaires à la récolte et séchage, effectuées dans de mauvaises conditions hygiéniques. Aucune poussée de coliformes totaux et de coliformes fécaux n'a été détectée dans la poudre de spirulineensemencée. L'effet bactériostatique et bactéricide de la spiruline dû à la présence de substances antibactériennes, a été confirmé par l'absence de la plupart des germes dénombrés.

L'analyse de centaines d'échantillons de spirulines commerciales cultivées en

Thaïlande, Japon, Taiwan et au Mexique a également montré que les coliformes sont absents dans la plupart des échantillons, indiquant les bonnes conditions sanitaires de la croissance, récolte, séchage et d'emballage [42]

Concernant les résultats de dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs et levures, aucune poussée n'a été détectée. Par contre, une charge peu élevée en moisissures a été enregistrée qui est de l'ordre de 100 UFC/g, ce résultat obtenu est sous réserve l'échantillonnage, l'entreposage et les ustensiles. Il est à signalé qu'une teneur élevée en humidité favorise le développement des moisissures, ce qui est le cas de notre échantillon.

Rappelons aussi que les altérations provoquées par les levures et les moisissures affectent surtout la qualité organoleptique [179,180].

Nous constatons que le produit analysé ne présente aucun risque pour la santé du consommateur car il ne contient aucune bactérie pathogène responsable d'intoxication Ces résultats sont conformes aux normes du J.O.R.A (1998) et aux normes européennes.

4.3.2. L'eau de process

Les résultats des analyses microbiologiques de l'eau de process sont montrés dans le tableau 4.14 :

Tableau 4.14: Résultats des analyses microbiologique de l'eau de process,

Germes	Résultats	Normes (J.O.R.A)
Germes totaux à 30°C	Abs	< 20germes/ml
Coliformes totaux à 37°C	Abs	<10 /ml
Coliformes fécaux à 44°C	Abs	Abs /100ml

Normes : normes exigées par le J.O.R.A : article N°35 daté du 27 Mai 1998.

Les résultats des analyses microbiologiques indiquent l'absence totale des germes totaux et des germes fécaux (coliformes totaux et fécaux), On peut dire que l'eau de process est de bonne qualité microbiologique, Cela est expliqué par l'efficacité du traitement de chloration que subit l'eau de forage au niveau de l'unité.

D'après Chefftel (1976)[180] la bonne qualité microbiologique que présente l'eau résulte de l'action germicide du chlore additionné lors de la phase de chloration.

4.3.3. Semoule et couscous

Le tableau 4.15 représente les résultats des analyses microbiologiques effectuées sur les différents échantillons de la semoule et de couscous.

Tableau 4.15 : Résultats des analyses microbiologiques des différents échantillons de couscous.

COUSCOUS Germe dénombrés (UFC/g)	Couscous 0%	Couscous 1%S	couscous 2% s	Couscous 5 %S	semoule	Normes*
Germe aérobies mésophiles totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	103
Coliformes	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	-
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	3
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	102
Moisissures	18	15	15	10	30	102

* Normes : J.O.R.A.1998

Les résultats obtenu ont montré que les résultats conformes ou norme établie par JORA.,aucune poussée de coliformes totaux, fécaux et de *Staphylococcus aureus* n'a été enregistrée, ce qui reflète la bonne qualité hygiénique de nos échantillons de couscous

Par contre une faible charge en moisissures a été trouvée soit 18 UFC/g dans le couscous témoin contre 15 UFC/g dans le couscous enrichi à 1et 2 % de spiruline et 10 UFC/g, dans le couscous 5 % de spiruline, cette charge reste inférieure aux normes Algériennes qui sont fixées à 10² UFC/g (pour les dérivés de céréales).

4.4. Impacte de la conservation sur la qualité nutritionnelle des couscous

4.4.1. La teneur en protéine

Le chauffage des aliments a essentiellement pour but :

- D'améliorer l'acceptabilité gustative soit donner un goût, un arôme et une texture appréciée par le consommateur,
- favoriser la digestibilité des aliments,
- assurer la conservation (la destruction des micro-organismes).

Dans tous les cas, l'aliment subit des transformations physico-chimiques, ces Transformations peuvent serévérer négatives comme par exemple; la baisse de la valeur nutritionnelle de l'aliment, c'est à dire réduire la disponibilité de certains nutriments comme les acides aminés, les vitamines, les protéines,etc.....).

Dans cette étude, on note la perte des protéines en cours de la conservation du couscous à des différentes températures (37 et 45C°).

Les résultats obtenus (les figures 4.22 et 4.23) : montrent la perte des protéines durant la période de stockage du couscous. on remarque d'après ces figures que la perte des protéines est plus importante pour le couscous conservé à une température de 37C°par rapport au couscous conservé à 45 °C.

La perte des protéines pour le couscous conservé à 37°C montre un pourcentage élève à partir de la 5^{ème} semaine de la conservation pour les 4 formule du couscous. par contre; on note que le pourcentage du couscous 2% est de 5 % plus élevé, la perte à atteint une valeur de 11% pour le couscous témoin à la 34^{ème} semaine .et 12.01% pour le couscous 1%, 39% pour le couscous 2% et 41 ?67% pour le couscous..5% de la spiruline. On remarque aussi que la perte des protéines augment avec le pourcentage de la spiruline. Ces pertes sont dûes aux procédés thermiques que l'aliment subi au cours de la transformation et aussi à cause du développement des moisissures.

Pour le couscous conservé à 45°C; la perte des protéines est moins importante que le couscous conservé a 37C°, elle attient une valeur Monumental de 20 % pour le couscous témoins (0% de la spiruline). Pour les autres types de couscous la perte est de l'ordre de 5 à 15 %.

Les résultats obtenus montrent que la meilleure température de la conservation du couscous enrichie en spiruline est de 45°C.

Fontana [182] confirment que la perte des protéines et des nutriments aux cours du stockage des aliments augmente avec la durée de la conservation jusqu'à ce que la perte touche tous les éléments.

Les protéines sont un constituant minoritaire du blé, mais représentent un élément fonctionnel et nutritionnel important dans les produits céréaliers. Elles sont représentées par deux grandes familles: les protéines globulaires (albumines et globulines) et le gluten (gliadines et gluténines). Durant le chauffage, les protéines subissent des transformations et des dénaturations thermiques, réversibles, qui affecte spécifiquement les protéines globulaires des transformations?, irréversible, consiste en une agrégation qui est le résultat de l'action de forces attractives (hydrophobe, -SH) entre fragments protéiques initialement dispersés. [183]

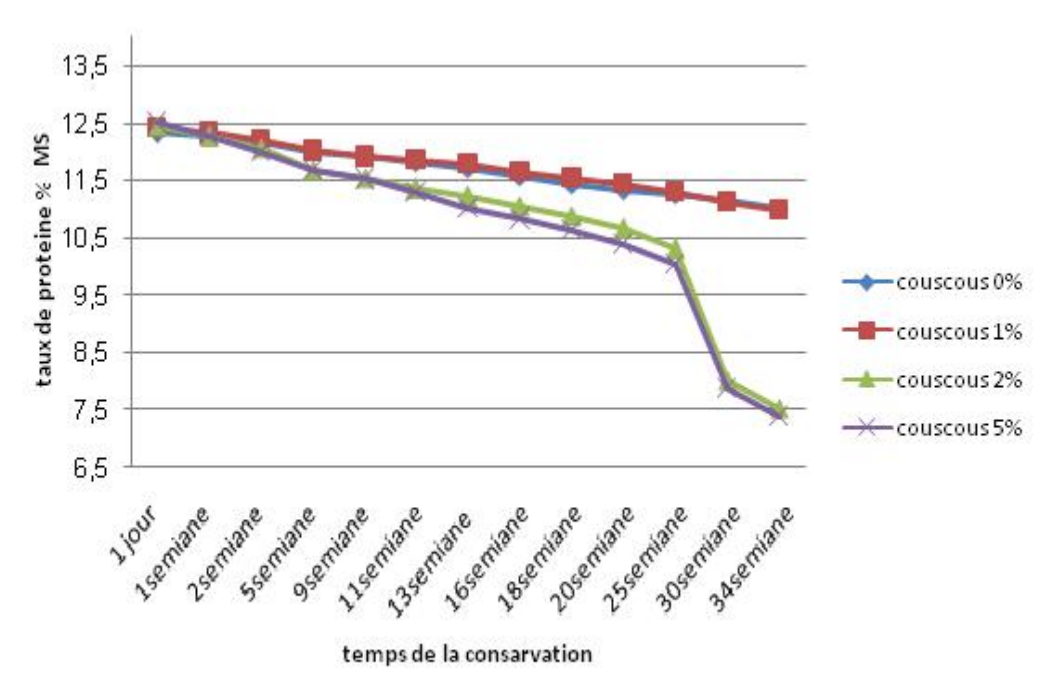


Figure4.22. La teneur en protéine des différents taux d'incorporation dans le couscous conservé a 37C°

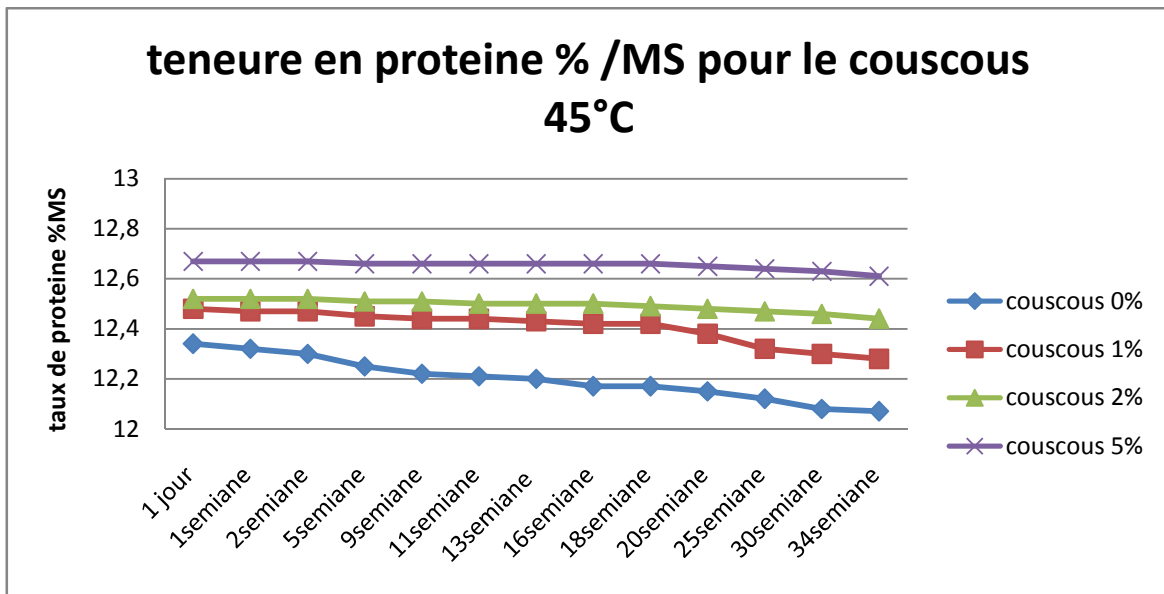


Figure4.23. La teneur en protéine des différents types de couscous conservé a 45°C.

4.4.2. Impacte de la conservation sur la croissance des moisissures

Les moisissures sont des microorganismes absorbotrophes hétérotrophes.

- Utilise le Glucose, fructose, mannose...mais aussi amidon, peptones, papiers, peintures, pigments comme source d'énergies.
- Température majoritairement mésophiles 15°-25°C mais thermophiles (62°C)
- pH : pH très tolérantes [184]

Les résultats obtenus (figure 4.24 et 4.25) : montrent que la croissance des moisissures augmente durant la période de stockage du couscous,

Donc notre couscous fabriqué est un produit riche en éléments nutritifs pour la croissance des moisissures (amidon et glucose) et des micros éléments.

On remarque que la croissance est plus élevée pour le couscous conservé à 37°C par rapports au couscous conservé à 45°C.

La courbe de croissance des moisissures pour le couscous conservé a 37°C présenté deux périodes :

Du 1 jour jusqu' au 21^{ème} semaine; on remarque une phase stationnaire de la croissance (18UFC/g) mais qui reste toujours dans les normes.

La 2^{ème} période; de la 21^{ème} . semaine jusqu'au 34^{ème} semaine; la croissance des moisissures augmente et atteint une valeur de 100UFC/g à ce moment là le produit est impropre à la consommation,

La projection de la courbe de croissance des moisissures et la perte des protéines révèle que la perte des protéines est plus élevée durant la phase de la 21^{ème} et la 34^{ème} . Semaine, on peut déduire d'après ce résultat que les moisissures utilisent ces protéines comme une source d'énergie.

Les produits issus des céréales forment un excellent milieu de culture pour les moisissures pendant Le stockage et la conservation, les céréales subissent généralement une perte de qualité, assurée par une infection des mycètes.

Cette détérioration est caractérisée par une décoloration, des modifications (changements) chimiques et nutritionnelles, un durcissement et de mauvais goûts qui à pour conséquence un rejet du produit [184]

Et pour le couscous qui est conservé à 45°C; le taux de croissance reste dans les normes et atteint une valeur maximale à la 21^{ème} semaine 20UFC/g, ce taux va diminuer just après et atteindra une valeur de 5 UFC/g.

Les moisissures se développent dans un milieu nécessitant une forte humidité pour leur croissance (20 à 25%), alors que les moisissures de stockage sont capables de croître sur des substrats contenant de 10 à 18 % d'humidité. [186]

Le taux d'humidité de notre couscous est entre 10 et 12%, donc un milieu favorable pour le développement des moisissures.

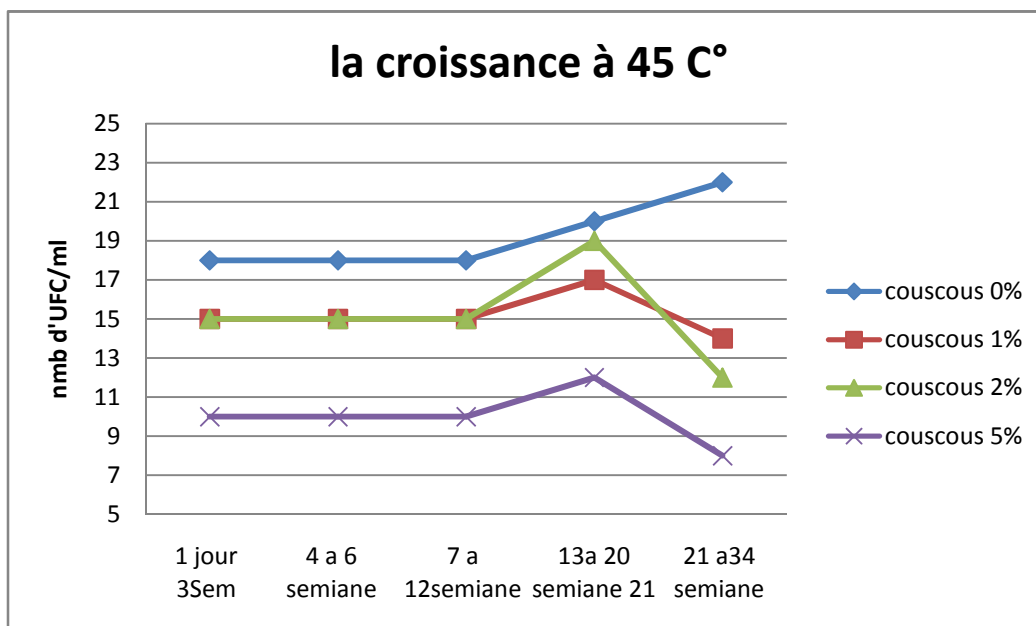


Figure 4.24 :La courbe de la croissance des moisissures dans les 4type des couscous a T45 °C

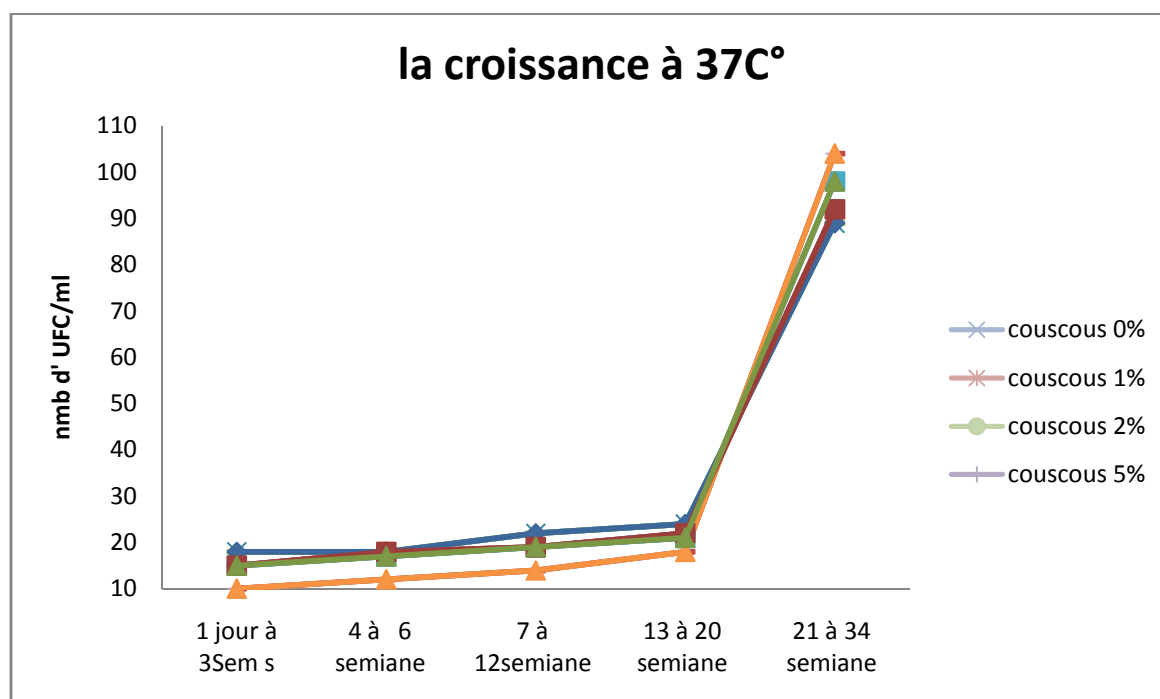


Figure 4.25: la courbe de la croissance des moisissures dans les 4type des couscous a T37 °C.

4.4.3. Impacte de la consarvation sur la coloration du couscous

La couleur est évaluée en fonction de sa clarté ou luminance (L^*), de la chromaticité rouge-verte (a^*) et de la chromaticité jaune bleue (b^*),

Ces résultats mettent en évidence l'augmentation des valeurs de brun pour la 15^{ème}. et 32^{ème}. semaine qui est de 40 à 59 %, la diminution de la valeur de l'indice de jaune pour la 15^{ème} semaine est de 20%, alors que pour la 32^{ème}. semaine est de 17 %.

Le rouge paramètre de chromaticité s'approche du zéro et l'augmentation de l'indice de brun atteint une valeur entre 35 à 59 %.

L'augmentation de la valeur de brun, la diminution des valeurs de l'indice jaune et du rouge montrent que le couscous avec la durée de la conservation perd sa couleur initiale.

L'augmentation de la valeur du brun montre l'apparition d'une teinture brune dans le couscous ; cette couleur peut être expliquée par la formation des quinones suite à la condensation des de teinte brun [184]

La décomposition des composés phénoliques se fait à l'aide des microorganismes présents dans le milieu, par l'action de certaines enzymes et la température de la conservation. [187]

Selon Kherrif (1996), la coloration des pâtes alimentaires et du couscous est affectée par l'accélération du brunissement des produits lors de l'augmentation de l'hydratation.

Le roulage et l'hydratation de semoule sont responsables d'une oxydation notable des pigments caroténoïdes par l'action de lipases, lipoxygénases, peroxydases et polyphénoloxydases [173, 2, 188,121;5] ce qui provoque un développement de la composante brune qui réduit la clarté des pâtes [189,190]

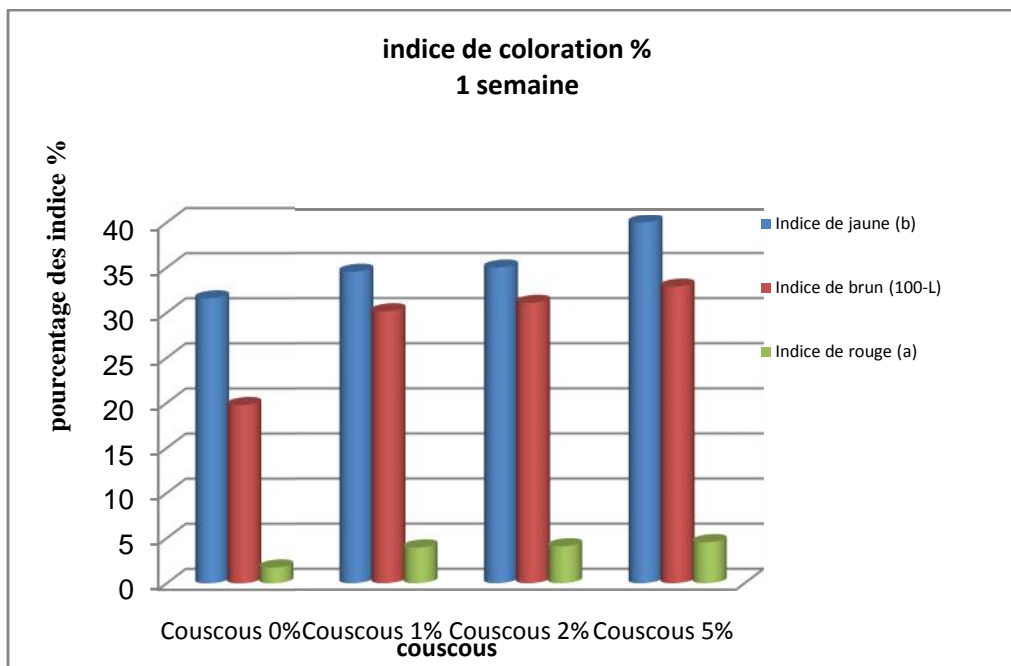


Figure 4.26: Indice de coloration à la 1^{ère} semaine

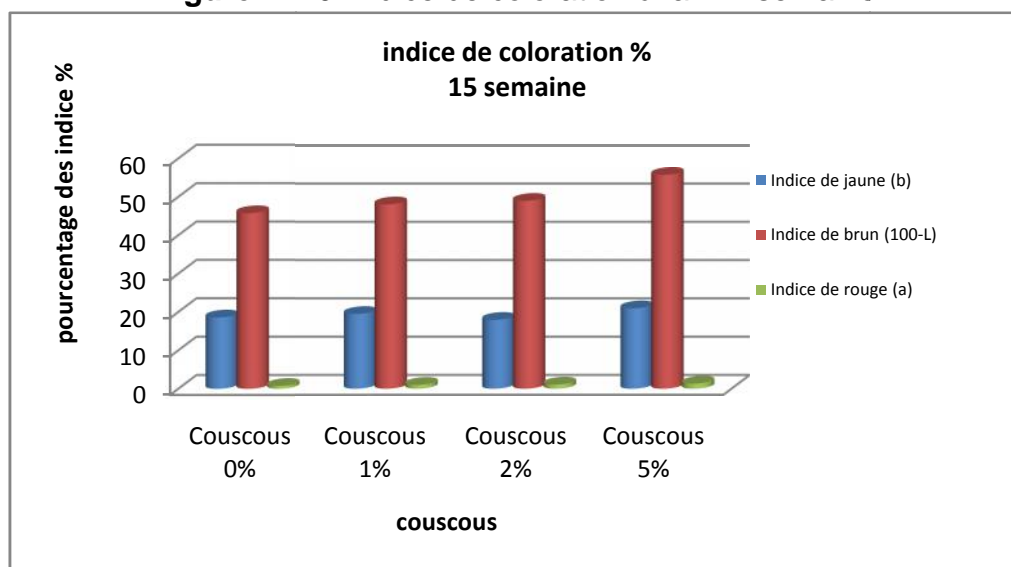


Figure 4.27: Indice de coloration à la 15^{ème} semaine

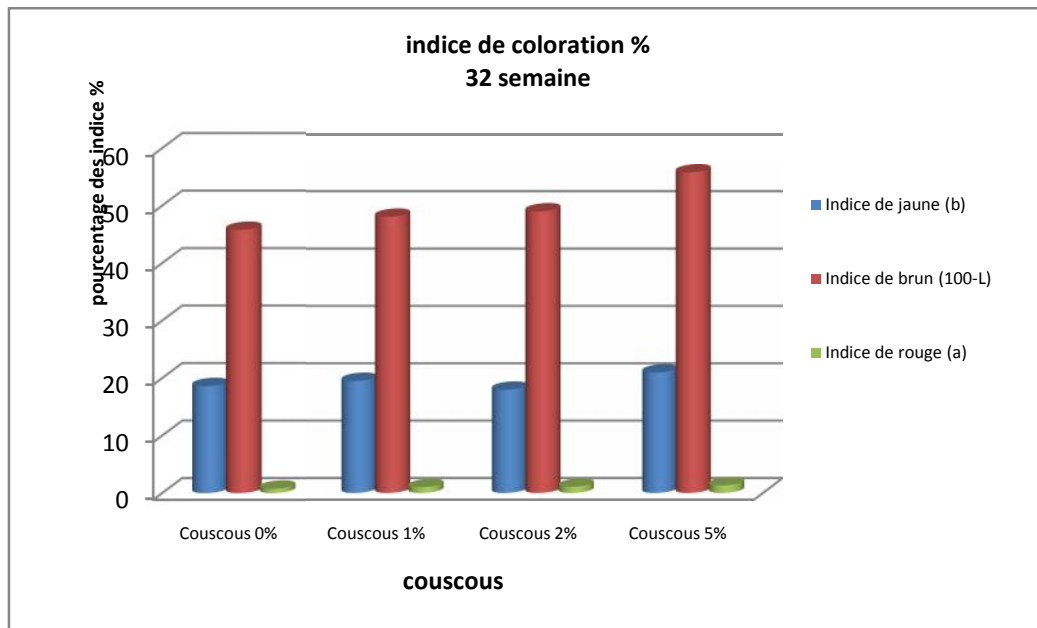


Figure 4.28: Indice de coloration à 32^{ème} semaine (couscous 37 C°)

4.4.4. Impacte de la conservation sur la granulométrie

La granulométrie est l'étude de la distribution de la taille des particules. C'est une caractéristique fondamentale en relation directe avec toutes les opérations unitaires de broyage, de séparation, de mélange et de transfert mais aussi avec les phénomènes d'échange et de réactivité, qu'ils soient physiques (migration d'eau, séchage, solubilisation), chimiques (oxydation) ou enzymatique (digestion des aliments [110]).

Les principales techniques utilisées pour la détermination granulométrique sont le tamisage, c'est la méthode la plus fréquente, la plus simple et la moins onéreuse.

L'analyse granulométrique des échantillons du couscous étudiés (figure 4.29, 4.30, 4.31) montre que la granulométrie médiane se situe entre 850 et 1000 μ m. Elle est de 1000 μ m pour le couscous témoin (0%), de 850 μ m pour les échantillons incorporés de 1 %, 2% et 5% (d'incorporation) de spiruline.

Selon la norme (NF V03-721 JUIN 1994), le diamètre du couscous se situe dans l'intervalle de 850 μ m et 1000 μ m, dans ce cas, nous pouvons classer notre produit parmi les couscous à granulométrie moyenne. Le couscous roulé à la main, présente une granulométrie plus homogène. Ceci s'explique par la granulométrie

médiane mis en œuvre qui est de même diamètre avec un (et par le) roulage effectué par la même personne.

- 1^{ère} semaine (figure 4.29):

On remarque qu'il n'y a pas une grande différence entre les diamètres des particules des échantillons de couscous analysés. Ceci s'explique par la granulométrie médiane mis en œuvre qui est de même diamètre et par un roulage effectué par la même personne. Nous remarquons aussi que la poudre de la spiruline n'a aucune influence sur la granulométrie des échantillons de couscous en raison de leur petite granulométrie (taux faible pour le 1 et le 2 %) mais leur pourcentage influe sur la granulométrie (pour le CS 5% et le témoin), donc si on augmente le taux d'incorporation de la spiruline, cette dernière est capable d'influencer la granulométrie du couscous.

- La 18^{ème} et la 34^{ème} semaine (les figures 4.30 et 4.31)

On remarque qu'il n'y a pas une grande différence entre les diamètres des particules des échantillons du couscous analysés. en comparant avec la 1^{ère} semaine; nos résultats montrent qu'il y a un changement de la granulométrie pour tous les types du couscous sauf pour le témoin qui reste inchangé. Ce changement augmente avec la durée de la conservation.

La dégradation des particules du couscous se fait soit par les microorganismes présents, soit par la faible adhérence entre la semoule et la spiruline au cours de la fabrication du couscous.

La granulométrie du couscous et son homogénéité sont considérées parmi les paramètres essentiels qui définissent sa qualité pour la majorité des consommateurs [5,3] Ainsi, la granulométrie a un effet évident sur sa qualité culinaire notamment le gain du poids (absorption) et le temps de cuisson. [191]

Selon Guezlane [115] la taille des particules et leur homogénéité dépendent pour une large part des conditions opératoires retenues pour réaliser l'opération de roulage et les caractéristiques des matières premières mises en œuvre. [192] a montré que la granulométrie médiane augmente avec l'augmentation du taux

d'hydratation et de la durée du malaxage et diminue avec l'augmentation de la température de l'eau de roulage, son état minéral et avec l'ajout de sel.

Bekhouche et al/ 2013 [193] la nature la matière première et sa composition influence sur la granulométrie du couscous.

De nombreuses modifications physiques chimiques et technologique et ont lieu au cours de la de la conservation et stockage des aliments. Ces changements sont essentiellement d'ordre moléculaire et sont principalement causés par les transformations hygrothermiques qui affectent les constituants majoritaires de la pâte (cristallisation des sucres, gélatinisation de l'amidon, dénaturation des protéines, et auto oxydation des lipides). Dès la préparation de la pâte, des interactions fortes entre ces constituants se mettent en place, essentiellement des réactions entre sucres et protéines et entre lipides et protéines. Ces interactions sont tellement importantes qu'elles entraînent des modifications macroscopiques, telles que le développement d'une texture, d'une odeur et une couleur caractéristiques des produits céréaliers. [194]

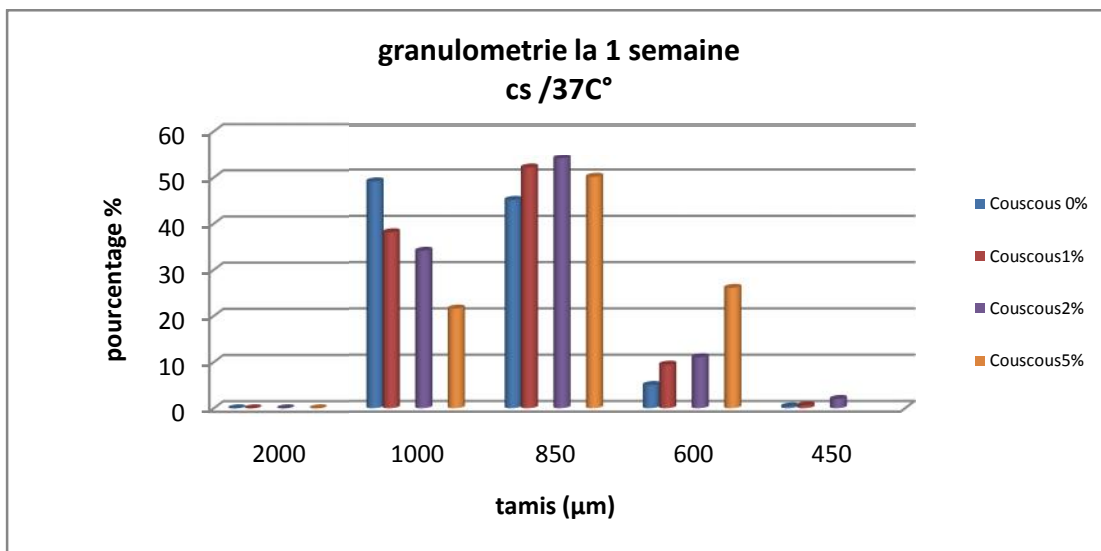


Figure 4.29: la granulométrie du couscous durant la période de stockage à la température de 37C° (1^{er} semaine).

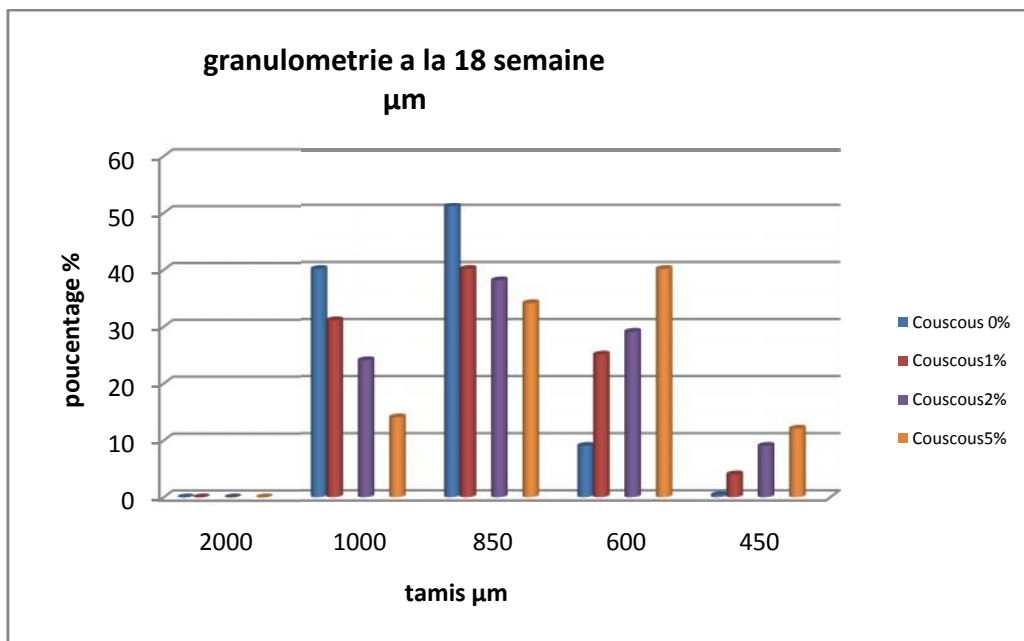


Figure 4.30: la granulométrie du couscous durant la période de stockage à la température de 37C° (18^{eme} semaine).

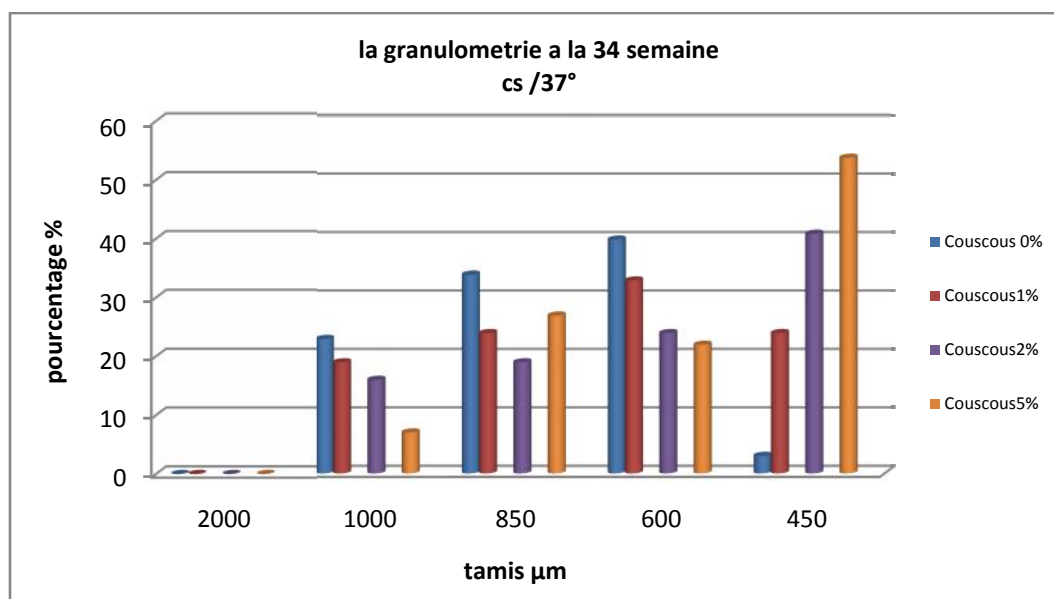


Figure 4.31: la granulométrie du couscous durant la période de stockage à la température de 37C° (34^{eme} semaine.)

4.5.. Résultats de l'évaluation sensorielle du couscous enrichi en farine spiruline

D'après le test de dégustation réalisé, le couscous témoin est jugé excellent sur tous les critères étudiés (aspect, texture, couleur, goût et odeur), y compris l'appréciation globale.

Concernant le couscous enrichi par 1% et 2 % de spiruline, il a été jugé excellent par 63 % des dégustateurs. Tandis que le couscous enrichi de 5% de spiruline, a été classé bon par 45 % des dégustateurs.

Le couscous témoin a été classé premier au niveau d'aspect, la couleur, l'odeur et le goût, tandis que pour la texture, il a été classé en 2^{ème} position après le couscous enrichi par 1% et 2 % de spiruline.

La couleur avait la notation la plus faible pour le couscous enrichis, par rapport aux autres critères étudiés, en raison de l'augmentation du taux d'incorporation de la spiruline. Elle a été jugé excellente pour le couscous témoin et bonne pour le couscous enrichi par un taux de 1% et 2%. Par contre pour, le couscous à un taux d'enrichissement de 5%, la couleur était jugée par 40% des dégustateurs bonne et 42 % acceptable.

Nous constatons que l'ensemble des descripteurs étudiés n'ont pas été affectés par l'addition de la poudre de spiruline, sauf pour la couleur qui a par la suite influencée légèrement l'appréciation de l'aspect du couscous à 1% et 2 de spiruline et moyennement pour le couscous à un taux de 5%.

CONCLUSION

Le but principal de cette étude est la fabrication d'un couscous enrichi en spiruline, l'étude de la qualité nutritionnelle et technologique de ces couscous et l'étude de l'effet de la conservation à la température sur la qualité nutritionnelle et technologique après l'addition ou l'incorporation de la spiruline. L'évaluation de ce produit se manifeste dans les propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques.

Les résultats obtenus dans cette pratique correspondent parfaitement à l'ensemble des prévisions, sachant que les paramètres essentiels pour l'obtention d'un nouveau produit riche en nutriments ont été pris en considération tout en gardant les caractéristiques du couscous.

L'ensemble des analyses effectuées montrent que

Sur le plan microbiologique, tous les produits étudiés (semoule et eaux de processus couscous et couscous enrichi) sont exemptes de microorganismes qui peuvent nuire à la qualité réglementaire sanitaire et hygiénique.

L'aspect nutritionnel représente un facteur primordial dans ce travail. Un enrichissement obtenu au niveau des nutriments que se soit les protéines ou les autres nutriments (lipide sucre et pigments) car la spiruline est une microalgue qui contient un bon taux de protéines.

Du côté technologique, le couscous préparé à l'addition de la spiruline a subi plusieurs analyses qui ont montré une similarité avec le couscous simple sauf pour le taux de cendre et les protéines qui a été légèrement supérieur aux normes ce qui est dû à la composition de la spiruline qui contient près de 13 % de matière sèche.

D'après le test de dégustation, le couscous à la spiruline a présenté un bon goût, une couleur brune et une odeur rappelant les algues vertes.

L'étude de l'effet de la conservation sur la qualité nutritionnelle et technologique de ces couscous (1%, 2% et 5%) montre que la durée et les températures de la

conservation jouant un rôle très importants dans la préservation de la qualité du couscous enrichi.

Au vu des résultats obtenus, on peut dire que l'association de la spiruline dans le couscous a été une pratique satisfaisante.

La prévention de certains défauts de couscous enrichi en matière protéique et en pigments naturelle au cours de la conservation et le stockage peut être obtenue en jouant sur la formulation. Utilisation de dépresseurs d'Aw, et d'ingrédients donne de bons résultats.

Il faut en effet, dans de nombreux cas, prévoir une remise à plat de la formule et la concevoir de nouveau en reconsidérant le rôle technologique de chacun des ingrédients incorporé

De plus, il ne faut pas dissocier de la formulation, les deux phases essentielles que sont la préparation de la pâte et la cuisson.

Ces facteurs auxquels s'ajoutent les conditions de stockage (type d'emballage, conditions ambiantes et la température de la conservation) sont essentiels pour assurer une durée de vie la plus longue possible.

Que les défauts apparaissant au cours du stockage, être supprimés par la mise en œuvre d'une formulation qui, loin de tout empirisme, emploiera des méthodes scientifiques.

Il est souhaitable de faire des études dans ce domaine et réaliser les perspectives suivantes :

- Incorporation de la spiruline dans les produits alimentaires tel que les yaourts, les pâtes, les biscuits ...etc.
- Envisager une culture de la spiruline 100% bio permettant d'avoir des produits biologiques sains et de réduire l'utilisation des produits de synthèse.
- Pour éviter tous les défauts d'un produits alimentaire ou d'un couscous si nécessaire de l'emploiera des méthodes scientifiques. (formulation)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Simoes laraz ferreira M., " Dynamique d'assemblage de protéines de réserve et du remplissage du grain de blé" dur, Thèse de doctorat, centre international d'études supérieures en sciences agronomiques de Montpellier (2011) 283p
- [2] :Feillet P., Le grain de blé, composition et utilisation2000.. INRA.Paris.308p.
- [3] Guezlane L., Collona P., Abecassis JD.,"Effet du traitement hydrothermique du couscous de blé dur sur les modifications physiques de l'amidon" Annales de l'INA. El Harrach (1998). V19.n° 1 et 2.
- [4] Beji-Becheur A. Couscous connexion: l'histoire d'un plat migrant. (2008)Session 2. 17p.
- [5] Yousfi L.,. Influence des conditions de fabrication sur la qualité du couscous industriel et artisanal. Thèse de Magister. INATAA (2002). Université de Constantine. 141p.
- [6] Halidou Doudou, M., Degbey, H., Daouda, H., Leveque, A., Donnen, P. et Hennart, P., " Supplémentation en spiruline dans le cadre de la réhabilitation nutritionnelle (2008), revue systématique", Rev. Epidemiol. Sante Publ., V. 56, 425–31.
- [7] Charpy, L., Langlade, M-J., Vicente, N. et Riva, A., "International Symposium on cyanobactéria (2004), for Health", Science and Development, CICSSD, 192 p, Siteweb:<http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/urcyano/activites/pdf/embiezabstracts.pdf>
- [8] Farrar, W.V., "Tecuitlatl, A Glimpse of Aztec (23 juillet, 1966).Food Technology. Nature", n° 5047,
- [9] Léonard, J. et Compère, P., "*Spirulina platensis* (Gom.) Geitler, algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines", *Bull. Jard. bot. Nat. Belg.*, V. 37, n°1, (1967), Suppl.23.
- [10] Clément, G., "Une nouvelle algue alimentaire: la *Spirulina*", *Rev. Inst. Pasteur*, V. 4, (1971), 103 p.

- [11] Fox, D., "Spiruline : technique pratique et promesse", Aix en Provence: Edi. sud, (1999), 246 p.
- [12] Materassi R; Tredici M et Ballon W, *Spirulina culture in sea water* *App. Microbiol. Biotechnol* (1984) Vol 19, pp 384, 386.
- [13] Wittrock, et Nordstedt, "Algae aquae ducia exsicc, fascicule XIV", *Descriptiones systematice dispositae*, n° 679, (1844), 59 p.
- [14] Gardner N.L, *New Pacific Coast marine algae. I.* University of California Publication in Botany (1917). V6: 9.
- [15] Vidalo J.L, *Spiruline l'algue bleue de sante et de preventio* (2008). Dauphin edition.
- [16] Geitler, L., "Cyanophyceae", In: Rabenhorst's *Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz.* Kolkwits R. (Eds.) Leipzig Germany : Akademische Verlagsgesellschaft, (1932), 14 p.
- [17] Mühling, M., Harris, N., Belay, A., Whitton, B-A., "Reversal of helix orientation in the cyanobacterium *Arthrospira*". *Journal of Phycology*, V. 39, (2003), 360-367.
- [18] Jeeji Bai, N., "Competitive exclusion or morphological transformation? A case study with *Spirulina fusiformis*", *Arch. Hydrobiol., Suppl. 71, Algol. Stud., n° 38/39*, (1985), 191 p.
- [19] Charpy L ; José Langlade M et Alliod R, (2008). « La spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? », (2008), P 49.
- [20] Scheldeman, P., Baurain, D., Bouhy, R., Scott, M., Belay, A. et Wilmotte, A., " *Arthrospira (Spirulina)* strains from four continents are resolved into only two clusters, based on amplified ribosomal DNA restriction analysis of the internally transcribed spacer. *FEMS Microbiol. Lett.*, V. 172, n°2, (1999), 213-222.
- [21] Anonyme, "Antenna Technologies. Malnutrition. Spiruline : quelques bases scientifiques", (2007), Site web et consulté le 05/10/2013 : <http://www.antenna.ch/documents/biologie.pdf>.
- [22] Anonyme,(2014).http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Cyanobacteria/cyano_filaments/cyano_unbranched_fil/untapered_filaments/no_heterocysts/no_visheath/A_RTHROSPIRA/Arthrospira_Image_page.htm.

- [23] Elyah, A., "Quel avenir pour la spiruline ?", Desta promotion, (2003), Site web et consulté le 17/10/2013 : http://elyah-partenariat.iquebec.com/autres/26biblio_spiruline.pdf.
- [24] Anonyme, "Antenna Technologies. Malnutrition. Spiruline : quelques bases scientifiques", (2007), Site web et consulté le 17/10/2013 : <http://www.antenna.ch/documents/biologie.pdf>.
- [25] Babadzhanov A.S ; Abdusamatova N ; Yusupova F.M ; Faizullaeva N ; Mezhlumyan L.G and Malikova M.Kh, *Chemical composition of Spirulina platensis cultivated in Uzbekistan*. Chemistry of Natural Compounds. 2004; 40 (3): p 276-279.
- [26] König C, (2007).Les algues: première lignée végétale [en ligne]. C06/10/2007.<http://www.futurasciences.com/fr/comprendre/dossiers/dos/t/botanique/d/lesalgues-premiere-lignee-vegetale>.
- [27] Van Eykelenburg, C., On the morphology and ultra structure of the cell wall of *Spirulina platensis*, *A.Leeuwenhoek*, (1977), 43, 89.
- [28] Balloni W; Tomaselli L; Giovanetti L and Margheri M .C Biologia fondamentale Del genere *Spirulina*. In: Cantarelli, C., Ciferri, O., Florenzano, G., Kapsiotis, G., Materassi, R., Treccani, U., Eds. Progetto finalizzato "Ricerca di nuove fonti proteiche e di nuove formulazioni alimentari". Atti del Convegno: Prospettive della coltura di *Spirulina* in Italia. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Firenze-Academia dei Georgofili, CNR, Tipografia Coppini; ,(1980). pp.49-82.
- [29] Merceron M. Les bactéries photosynthétiques productrices d'oxygène[en ligne]. c2006.[consulté le:24/09/2013].Disponible sur: http://membres.lyco.fr/neb5000/BacteriologieI/GroupesBacteriens/Bacteriesphotosynthetiques_productrices_d_oxygene.htm.
- [30] Doumenge, F., Durand-Chastel, H., Toulemont A.Spiruline, algue de vie/ *Spirulina*, algae of life. Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco, (1993). numéro spécial 12. Monaco : Musée Océanographique,
- [31] Moreau F., Prat R. La Photosynthèse : Localisation de la photosynthèse [en ligne]. c05/04/2005. [consulté le :25/09/2013]. Disponible sur :

<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/02-localisation.htm>.

- [32] Chorus, I. and Bartram, J., Toxic cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management , Disponible sur: http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxycyano bacteria.pdf, page consulter le 24/09/2013
- [33] Anonyme, Disponible sur et consulté le 25/09/2013 présente en ligne : <http://www.nies.go.jp/biology/mcc/images/PCD4211/0049L.jpg>
- [34] Xue, C., Hu, Y., Saito, H., Zhang, Z., Li, Z., Cai, Y., Ou, C., Lin, H. et Lmbs, A.B., "Molecular species composition of glycolipids from *Spirulina platensis* , Food Chemistry, 77, (2002), 9-13.
- [35] Falquet, J. et Hurni, J.P., Spiruline: Aspect nutritionnels , Antenna technologie,(2006),Disponibles sur le site et consulté le 05/10/2013 http://www.antenna.ch/documents/asp_Nutr.2006.PDF.
- [36] Becker EW, Microalgae biotechnology and microbiology. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press(1994). 293 p.
- [37] Henrikson R, Microalga *Spirulina*, Superalimento del future, 2nd Edition. Ediciones Urano, Ronore Enterprises, (1994). Barcelona, España.
- [38] Bujard E ; Braco U ; Mauron J ; Mottu F ; Nabholz A; Wuhrmann JJ et Clément G, Composition and Nutritive Value of Blue Green Algae (*Spirulina*) and their Possible Use in Food Formulations, 3rd.international Congress of Food Science and Technology,Washington(1970).
- [39] Shekharam, K.M., Venkataraman, L.V. and Salimath, P.V., Carbohydrate Composition and Characterization of To Unusual Sugars from the Blue Green Alga *Spirulina-Platensis* , Phytochemistry, V. 26, (1987), 2267-2270.
- [40] Borowitzka, M.A., Borowitzka L.J., "Micro-Algal biotechnology, New York Cambridge University Press, (1988), 477pp.
- [41] Leonard J et Compere P, (1967), *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler, algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines, Bull. Nat. Plantentuin Belg. 37 (1), Suppl.
- [42] Gershwin M.E et Belay A, *Spirulina* in human nutrition and Health, CRC Press (2007).,

- [43] Jeeji Bai, N. et Seshadri, C-V. "On coiling and uncoiling of trichomes in the genus *Spirulina*, *Arch. Hydrobiol.*",(1980). Suppl. 60, *Algol. Stud.*, V. 26.
- [44] Jeeji Bai, N., "Competitive exclusion or morphological transformation? A case study with *Spirulina fusiformis*", *Arch. Hydrobiol.*, Suppl. 71, *Algol. Stud.*, n° 38/39, (1985), 191 p.
- [45] Anonyme, Extrait d'un article paru dans *Énergie et santé* N°57, concernant la spiruline . Disponible sur site web et consulté le 05/10/2013 <http://www.spiruline-allaitement.com/>
- [46] Colla LM ; Bertolini TE et Vosta JAV, Fatty acids profile of *Spirulina platensis* grown under different temperatures and nitrogen concentrations. *Z. Naturforsch.* (2004)59 .
- [47] Falquet J et Hurni , Spiruline : aspects nutritionnels. *Antenna Technologies.* (2006) P41.
- [48] Challem J.J; Passwater R.A et Mindell E.M, *Spirulina*, Keats Publishing, Inc. New Canaan, (1981). Connecticut. 55 59.
- [49] Nippon Ink, "Spirulina". Bull Tech Dye Nippon, 1977.
- [50] Lee JB ; Hayashi T; Hayashi K ; Sankawa U ; Maeda M ; Nemoto T et Nakanishi H Further purification and structural analysis of calcium spirulan from *Spirulina platensis*. *Journal of natural products*, (Sept1998). : pp 1101-1104.
- [51] Hayashi K; Hayashi T et Kojima I, A natural sulfated polysaccharide, calcium spirulan, isolated from *Spirulina platensis*: In vitro and ex vivo evaluation of anti-herpes simplex virus and anti-human immunodeficiency virus activities. *AIDS Research and Human Retroviruses* 12: (1996). 1463-1471 pp.
- [52] RechterS, Antiviral activity of *Arthrospira*-derived spirulan-like substances, *Antiviral Res* (2006)..
- [53] Charlemagne D, 'La spiruline : aliment santé ' DIU Alimentation Santé et Micronutrition de la faculté de pharmacie de Dijon(2007)..
- [54] Sguera S, '*Spirulina platensis* et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques'. Thèse pour l'obtention du diplôme Docteur en pharmacie . université Henri Poincare - Nancy 1(2008) p 163.

- [55] Branger J.L; Cadudal M; Delobel H; Ouoba P; Yameogo D ; Ouedraogo D ; Guerin, A., Valea C ; Zombre P ; Ancel, La spirulina comme complement alimentaire dans la malnutrition du nourrisson au Burkina-Faso , mémoire originale, Archives de pédiatrie, V. 10(2003)., pp 424-431.
- [56] Mahesh S; Babu M; Gopaldaswamy G et Chancramohan N, Identification of an antiviral principal in *Spirulina platensis* against *Bombyx mori* Nuclear Polyhedrosis Virus (BmNPV) , Indian Journal of Biotechnology, V. 4(2005), pp 384-388.
- [57] Gustafson K, AIDS. Antiviral sulfolipids from cyanobacteria (blue-green algae) , Journal of the National Cancer Institut, V. 81, n°16, (1989), pp1254-1258.
- [58] Clement G, « Production et constituants caractéristiques des algues *Spirulina platensis* et *maxima* », Ann. Nutr. Aliment, V. 29(1975), pp 477-487.
- [59] Shih SR; Tsai K.N; Li Y.S; Chueh C.C and Chan E.C,. Inhibition of enterovirus 71-induced apoptosis by allophycocyanin isolated from a blue green alga *Spirulina platensis* , Journal of Medical virology, V. 70 n°1(2003), 119-125.
- [60] Schaeffer D.J et Krylov V.S,. Anti-HIV activity of extracts and compounds from algae and cyanobacteria , *Ecotoxicol Environ Saf.*, v. 45, n°3(2000), pp 208-227.
- [61] Simpure J; Salvatore; Pignatelli I; Salvatore et Musumeci, The effects of Spiruline on the immune functions of HIV-infected undernourished children , J. Infect. Developing Countries, V. 1(2007)., n°2, pp 112-117.
- [62] Mani U.V; Desai S et Lyer U,. Studies on the long-term effect of *Spirulina* supplementation on serum lipid profile and glycated proteins in NIDDM patients , J. Nutraceut. V. 2, n°3(2000), pp 25-32.
- [63] Anuradha V et Vidhya D,. "Impact of administration of *Spirulina* on the blood glucose levels of selected diabetic patients", Indian J. Nutr. Dietet., V. 38(2001), pp 40-44.
- [64] Santillan,. Cultivation of the *Spirulina* for Human Consumption and for Animal Feed , International Congress of Food Science and Technoloy, (1974) Madrid (Spain).

- [65] Boudène C ; Collas E et Jenkins C,. Recherche et dosage de divers toxiques minéraux dans les algues spirulines de différentes origines, et évaluation de la toxicité à long terme chez le rat d'un lot d'algues spirulines de provenance mexicaine Ann Nutr Aliment : 29(1975), pp577-587.
- [66] Langlade M.J ; Alliod, R et Charpy L, Utilisations de la spiruline autrement que pour traiter la malnutrition (2008) , URCYROCO, IRD, COM. Paris.
- [67] Pierlovisi C,. « L'homme et la spiruline : Un avenir commun Composition chimique, intérêt alimentaires et activités biologiques », (2007) Paris V-rené. Descartes, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Paris,162P.
- [68] Tranquille N ; Emeis JJ ; de Chambure D ; Binot R et Tamponnet C, Spirulina acceptability trials in rats. A study for the "MELISSA" life-support system. Adv Space Res.14(11)(1994) : pp167-170.
- [69] Picard E, Le traitement de la malnutrition protéino énergétique avec la spiruline en Centrafrique. Centre de nutrition du foyer de charité de Bangui, (1993) pp1-3.
- [70] Sall M.G ; Dankoko B ; Badiane M ; Ehuae et Kuakiwi N, "Resultats d'un essai de rehabilitation nutritionnelle avec la spiruline à Dakar (à propos de 59 cas) ", Medecine d'Afrique Noire, V. 46, n°3(1999), 143-146.
- [71] Degbey H ; Boureima H et Oumarou H, . 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 » Île des Embiez 3-6 mai(2004).
- [72] Jacket J, Utilisations biologiques des spirulines. Bulletin de l'académie vétérinaire de France, 47(1974), 133-143.
- [73] Kapoor R; Mehta U '*Iron bioavailability from Spirulina platensis, whole egg and whole wheat.* Idian journal of experimental biology; 30 /19, (1992): p. 904-907.
- [74] Mejean L, (2008). [page WEB consultee le 4 octobre 2013] *Fonctionnalité des aliments.* [www.iaalorraine.fr/media/article/document/2_478c8089e5471_diaporama_luc_mejean.p df,](http://www.iaalorraine.fr/media/article/document/2_478c8089e5471_diaporama_luc_mejean.pdf)

- [75] Chronakis IS,. Gelation of edible blue-green algae protein isolate (*Spirulina latensis* Strain Pacifica): thermal transitions, rheological properties, and molecular forces involved. *J Agric Food Chem.* 49(2) (2001):pp 888-98.
- [76] Varga L; Szigeti J et Ördög V,. Effect of a *Spirulina platensis* biomass and that of its active components on single strains of dairy starter cultures. *Milchwissenschaft* 54(1999), pp 187-190.
- [77] Varga L; Szigeti J; Kovacs R; Földes T et Buti S, (2002). Influence of a *Spirulina platensis* biomass on the microflora of fermented ABT milks during storage. *Journal of Dairy Science* 85, pp 1031-1038.
- [78] Chakravarthi S et Kapoor R, (2003). Development of a nutritious low viscosity weaning mix using natural ingredients and microbial amylases. *Int J Food Sci Nutr.* 54(5): pp 341-7.
- [79] Simpore J; Salvatore; Pignatelli I; Salvatore et Musumeci, (2007). The effects of Spiruline on the immune functions of HIV-infected undernourished children , *J. Infect. Developing Countries*, V. 1, n°2, pp 112-117.
- [80] Sisso B, (2001). Saveurs et vertus de la spiruline Mamaeditions.com, 117 Bd Voltaire (Paris).
- [81] Doumandji A ; Chader S ; Alili D ; Hamrouche D et Haouari S, (2012). INAPI, Couscous enrichi en spiruline. Brevet N° 120576. 10p.
- [82] Benahmed-Djilali A, (2011). Analyse des aptitudes technologiques de poudres de dattes (*Phoenix-dactylifera.l*) améliorées par la spiruline. Etude des propriétés rhéologiques, nutritionnelles et antibactériennes. Thèse doctorat, Filière : Génie des Procédés, Option : Technologie Alimentaire, Université M'hamed Bougara-Boumerdes, p 119.
- [83] Lounici S, (2010). Caractérisation de la spiruline : *spirulina htam*, optimisation de ses conditions de culture et application industrielle. Mémoire de magister, université de Blida, département des sciences agronomiques, 131p.
- [84] Belay A, (1997). Mass culture of *Spirulina* outdoors The Earthrise Farms experience. In: Vonshak, A., Ed. *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, cell-biology and biotechnology. Taylor and Francis. London. pp. 131-158.

- [85] Belay A, (2002). The potential application of *Spirulina (Arthrospira)* as a nutritional and therapeutic supplement in health management. J. Am. Nutraceut. Assoc. 5(2): pp 27-48.
- [86] James R; Sampath K; Thangarathinam R et Vasudevan I, (2006). Effect of dietary *spirulina* level on growth, fertility, coloration and *leucocyte* count in red swordtail, *Xiphophorus helleri*. *Israeli Journal of Aquaculture Bamidegeh*. Vol 58, pp502-503.
- [87] Kim CJ; Yoon SK; Kim HI; Park YH et Oh HM, (2006) Effect of *Spirulina platensis* and probiotics as feed additives on growth of shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 16: pp 1248-1254.
- [88] Razafindrajaona J .M ; Rakotozandriny J ; Rakotozandrindrainy R; Tsivingaina A ; Ramapiherika K.D et Randria J.N, (2008). Influence de l'incorporation dans les provendes de la spiruline de madagascar (*Spirulina platensis var. toliara*) sur la croissance des poulets de chair, colloque international sur la spiruline, Taliar Sud-Ouest de Madagascar, 184 p.
- [89] Watanuki H; Ota K; Tassakka ACMAR; Kato T et Sakai M, (2006) Immunostimulant effects of dietary *Spirulina platensis* on carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 258: pp 157-163.
- [90] 100 Regunathan C et Wesley S.G, (2006). Pigment deficiency correction in shrimp broodstock using *Spirulina* as a carotenoid source, *Aquaculture Nutrition* , V.12, pp 425- 432.
- [91] Toyomizu M; Sato K; Taroda, H; Kato T et Akiba, Y, (2001). Effects of dietary *Spirulina* on meat colour in muscle of broiler chickens, *British Poultry Science*, V. 42, pp 197-202.
- [92] Spolaore P ; Joannis-Cassan C ; Duran E et Isambert A, (2006). Commercial Applications of Microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, V. 101, pp 87-96.
- [93] Anonyme, (2007). "Antenna Technologies. Malnutrition. Spiruline : quelques bases scientifiques", Site web : <http://www.antenna.ch/documents/biologie.pdf>.
- [94] Hamadache A., 2001 : Stades et variétés de blé édition TIGC, Pp.7.

- [95] Boudreau A., Menard G., 1992 : Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. Sainte-Fay. Canada, Pp.439.
- [96] Linden G., Lorient D., 1994 : Biochimie agro-industrielle valorisation alimentaire de la Production agricole, Paris édition Masson, Pp 367.
- [97] Darrigol J.L., 1978 : les céréales pour votre santé : propriétés et usages diététiques et Thérapeutiques des céréales complètes, du germe de blé et du son. St Jean de Broye, France : Edition Dangles.145p
- [98] Fredot E., 2006 : Connaissance des aliments bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Ed Lavoisier Tec et doc Paris, Pp.40.53.
- [99] HENRI DUPIN, 1992 : Alimentation et nutrition humaines Esf Editeur, - 1533 pages
- [100] HEMRIOUI M., 2009 ,contrôle de la qualité des eaux naturelles de la région de Khmiss Dades (Ouarzazate, Maroc),fac des sciences et techniques,Gheliz – Marrakech, pp31,42 p
- [101] Sall Khaly., (1998)- contrôle de qualité des farines céréalieres mises sur le marché au Sénégal. Thèse de doctorat, Pp.14.17.
- [102] Godon B., (1991) – Biotransformation des produits céréaliers Paris. Technique et Documentation. Lavoisier, Pp.221.
- [103] Godon B., et Loisel W., (1997) – guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Ed Lavoisier Tec et Doc, Paris. Pp.810.
- [104] Feillet P., (2000) - Le grain de blé composition et utilisation, INRA, Paris, Pp.53.54
- [105] Jeantet R., Croguennec T., Schuck P., et Brulé P., (2006) – Science des aliments. Ed. Lavoisier Tec et Doc. Paris. Pp.40-53.
- [106] Godon B., Willm C., (1998) - Les industries de première transformation des céréales, édition Lavoisier, Pp.58.61.63.
- [107] Moll M., Moll N., (2008)- Précis des risques alimentaires. Ed lavoisier Tec et doc., Paris, Pp.104.345.
- [108] FARRAR W.V., 1966: « Techuitlatl, A Glimpse of Aztec Food Technology » Nature N° 5047, 23 juillet
- [109] Chefel J.C., 1992 : Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments.

Techniques et documentation, V. I, pp. 105-145.

- [110] MELCION, 2000
- [111] Bailly, 1985 : Le blé dur, la semoulerie, industries des céréales, 36Pp.5-12
- [112] Codex Codex alimentarius. Norme codex 202-1995.Norme codex pour le couscous. P : 1-3.
- [113] Codex Standard 178-1991 : Norme Codex pour la semoule et la farine de blé dur.
- [114] 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
- [115] Guzlane L., 1993 : Misse au point de méthodes de caractéristique et études des modifications physico-chimiques sous l'effet de traitement hydrothermique en vue d'optimiser la qualité du couscous du blé dur. Thèse de Doctorat. INRA. El Harrach. Pp89.104.
- [116] Abecassis J., 1991 : Industrie des céréales qualité de blé dur N°72, de la semoule et des pâtes alimentaires. pp 232.
- [117] Boudreau A., Menard G., 1992 : Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. Sainte-Fay. Canada, Pp.439.
- [118] Boudreau A., et Menard G., 1992 : Le blé ; éléments fondamentaux et transformation. Ed. Les presses de l'université de laval. Québec, p. 131.
- [119] FAO, 1990 : Utilisation des aliments tropicaux : Céréales. FAO. Alimentation et Nutrition. 47/1. Rome. 120p.
- [120] Derouiche. m, 2003 : couscous – enquête de consommation dans l'est algérien, fabrication traditionnelle et qualité. thèse de magister. inataa. université de constantine.125 p.
- [121] Boudreau A., Menard G., 1992 : Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. Sainte-Fay. Canada, Pp.439.
- [122] Jeantet R., Croguennec T., Schuck P., et Brulé P., 2006 : Science des aliments. Ed. Lavoisier Tec et Doc. Paris. Pp. 40-53.
- [123] Jeantet R., Croguennec T., Schuck P., et Bruel G., 2007 : La science des aliments Technologie des produits alimentaires. Ed, Tec & Doc 2 ème Ed.

Lavoisier. Paris p 187-452.

- [124] Djender Z., Merabti A. et Zaghouane O., 2004 : Procédé traditionnel et cout de fabrication du couscous et de la galette de blé dur dans l'exploitation, ITGC. Ed. IFAD, 33p.
- [125] 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.
- [126] 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 cœliaques. 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
- BOUCHEHAM Nouhed, 2009 : Aptitude technologique de trois formules à base de riz pour la fabrication de couscous sans gluten. Thèse de magister. Université Mentouri Constantine, Algérie. INATAA 76 pages.
- [127] ALIOUANE N. et MOHAMMEDI Z., 2006, aptitude de quelques variétés de blé dur Algériennes à la plastification et à la fabrication du couscous artisanal, thèse d'ing, université Saad Dahlab de Blida.89p.
- [128] DEROUICHE M. 2003. Couscous Enquête de consommation dans l'est algérien, fabrication traditionnelle et qualité. Thèse de Magister. INATAA. Université de constantine.125
- [129] 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
- [130] 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.
- [131] Elias E. M., 1995. La qualité du blé dur dans la régions méditerranéenne Zaragoza : CIHEAM-IAMZ,1995.284 p.(Options Méditerranéennes Série A. Séminaires Méditerranéens ;N°22.

- [132] Dexter J.E., ET Matsuo P.R., 1977: Influence of protein content on some durum wheat quality parameters. Can. Journal of plant sci. n°57. Pp.712-727.
- DEBBOUZ A. et DONNELLY B.J., 1996 : Process effect on couscous quality. Engineering and processing. Cereal chem. Vol. 73. P : 668-671.
- [133] Autran J.C.; Feillet P.; Icard-Vernière C., 2000 : Bases biochimiques du brunissement des pâtes alimentaires, (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 40), "Zaragoza : CIHEAM-IAMZ. p. 431-438.
- [134] Idir D., 2000. Influence du taux d'extraction et de la granulométrie de semoule sur la qualité technologique du couscous de blé dur. Mémoire de Magister. INA, El-Harrach, Alger 84
- [135] Kherrif A., 1996 : Effet de la variation protéique sur l'expression de la qualité technologique du couscous du blé dur. Thèse magistère, INA Elharach, 61p.
- [136] BENLACHEHAB R.2008. Scores lipidiques de certains plats traditionnels consommés Constantine. Thèse de Magister. INATAA. Université de constantine.175 p.
- [137] DAHOUN-Lefkir S., 2005. Influence des conditions de l'hydratation sur la qualité technologique du couscous. Mémoire Magister. INA, El-Harrach, Alger. 100 pages.
- [138] ARLENE A., BROUTIN C., et GRET, 2009, normes de qualité pour les produits agroalimentaires en Afrique de l'ouest : Agence Française de développement, département de la recherche.pdf
- [139] 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.
- [140] Jourdan J.P, (2006). Cultivez votre Spiruline, Manuel de culture artisanale pour la production de la spiruline", *Publication Antenna Technologie*, (2006), P143.
- [141] GIVRY S.,2006,optimisation de procédés de fermentation lactique sur sirop de son de blé et purification et caractérisation d'une arabinose isomérase de *Lactobacillus bifermens*,thèse de doctorat université de REIMS

CHAMPAGNE–ARDENNE,france,pp39,221p

,<http://ebureau.univ.fr/slide/files/quotas/SCD/theses/exl-doc/GED00000416.pdf>,
consulté le :18.04.2012

- [142] Dubois et *al.*, 1956 méthode de Dubois Dubois et al. 1956 Anal Chem (28) 350-356.
- [143] Kjeldahl méthode de référence pour la détermination des protéines dans les aliments
- [144] BADAoui D., 1984, influence de séchage sur la qualité du couscous industriel thèse ing.INA .EL-HARRACH .78p
- [145] AFNOR, 1997, association Française de normalisation : céréales et produits céréaliers, recueil de normes Françaises.
- [146] Muller 1969 méthodes nous permet de classer le gluten.
- [147] Namoune H., 1989. Détermination des aptitudes technologiques des principales des blés tendres cultivés en Algérie. Thèse de Magister, option Génie Alimentaire. INATAA, Université Mentouri Constantine, Algérie. 109 pages.
- [148] Kauzes *et al.* (1966)
- [149] Kezih R., 1998. Galettes : mise au point des méthodes de préparation et évaluation de la qualité. Thèse de Magister. INATAA, Université Mentouri, Constantine, Algérie, 116 pages.
- [150] NF V 08-010 (mars 1996). Microbiologie des aliments. - Règles générales pour la préparation des dilutions en vue de l'examen microbiologique (homologuée le 5 février 1996).
- [151] Collonna P. et Rouau X., 1986. L'amidon, utilisations industrielles, Industries des Céréales. P : 13-17.
- [152] Porter, N.A., Caldwell, S.E., Mills, K.A.: Mechanisms of free radical oxidation of unsaturated lipids. Lipids 30, 277 (1995)
- [153] Espiard, E., 2002. Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc- Lavoisier, 360 p
- [154] Alvarenga R.R ; Rodrigues P.B ; Cantarelli V.S, Zangeronimo M.G ; Silva Júnior G.W ; Silva L.F, Santos L.M et Pereira L.J, (2011). Energy values

- and chemical composition of spirulina (*Spirulina platensis*) evaluated with broilers, R. Bras. Zootec., v.40, n.5, p.992-996.
- [155] Moorhead K; Capelli B et Cysewski G. R, (2006). “*Spirulina* nature’s superfood”, 2^{ème} edition: Cyanotech Corporation, 66 p.
- [156] Kargin Yilmaz H, (2012). The proximate composition and growth of *Spirulina platensis* biomass (*Arthospira platensis*) at different temperatures. Journal of Animal and Veterinary Advances 11 (8): pp 1135-1138.
- [157] Rangsayatorn N; Pokethitiyook P; Upatham ES et Lanza GR, (2004). Cadmium biosorption by cells of *Spirulina platensis* TISTR 8217 immobilized in alginate and silica gel. *Environ Int.* Vol 30, N° 1, pp 57-63.
- [158] Chen H et Pan S, (2005). Bioremediation potential of spirulina : toxicity and biosorption studies of lead. *Journal. Zhejiang Univ.SCI.* Vol 3, pp 171-174.
- [159] Solisio, C., Lodi, A., Torre, P., Converti, A., Del Borghi, M., (2006). Copper removal by dry and rehydrated biomasse of *Spirulina platenis*
- [160] Jagiello M; Minta E; Chojnacka K et Kafarski P, (2006). Mode of biosorption of chromium (III) by *Spirulina* Species cells from aqueous solutions. *Water Environnement Research.* Vol 78, N° 7, pp 740-743.
- [161] Van Rijn J et Shilo M, (1986). Nitrogen Limitation in Natural Populations of Cyanobacteria (*Spirulina* and *Oscillatoria* spp.) and Its Effect on Macromolecular Synthesis *Appl Environ Microbiol.* 52(2): 340-344.
- [162] Briend, A. (1995). Supplementary feeding programmes. In : Report of a workshop on the improvement of the nutrition of refugees and displaced people in Africa, Machakos, Kenya, 5-7 December 1994. University of Nairobi, Applied Human Nutrition Programme, pp. 69-75.
- [163] Hamouda Hamouda ALI I, (2012). Etude de la spiruline comme aliment fonctionnel, nourrissant la flore intestinale : influence *in vitro* de la spiruline sur la croissance des bifidobacteries. Thèse de magister en sciences agronomiques. p 169.
- [164] E. Houliaropoulos, J. Abecassis et J. C. Aufran - Produits de mouture du blé dur: coloration et caractéristiques culinaires. *Industries des Céréales*, 12 (1981): 3 – 13.

- [165] GODON B., et Loisel W., 1997 guide pratique des analyses des produits céréaliers, 819p France.
- [166] Matveef M., 1966 : « Influence du gluten des blés durs sur la valeur des pâtes alimentaires », Bull. anc. Ed. Fr. meunerie, 213, Pp.133-138.
- [167] Souccar A. Periault, P. Trembalais, N. Elvir, V. Molean - lanutrition. Edi Axis Media (1992) [www. Lanutrition.fr/ alimentsindex.php](http://www.lanutrition.fr/alimentsindex.php) Consulté le 2/3/2014.
- [168] Vidalo J.L, (2008). Spiruline l'algue bleue de sante et de prevention Dauphin edition
- [169] Laboratoire NATESIS., Les phytonutriments majeurs de la Spiruline Disponible sur http://www.natesis.com/boutique/page_actus_page.fr, (2007)
- [170] Kobrehel K., Laignelet B. et Peillet P., 1972. Relation entre les activités peroxydasiques et polyphénol oxydasiques des blés durs et le brunissement des pâtes alimentaires. C.R Acad. Afric. Fr. Vol. 58. P : 1099-1106.
- [171] Guarda G., Padovan S. et Delogu G., 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. Eur. J. Agron. Vol 21. P : 181–192.
- [172] Singh N., Kaur L., Sandhu K.S., Kaur J., Nishinari K., 2006: Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. Food Hydrocolloids. 20. pp. 532-542.
- [173] Buleon A., Colonna P., Leloup V., 1990. Les amidons et leurs derives dans les industries des cereals. IAA Juin : 515- 532.
- [174] Lefkir S. et Sehili R., 1996. Effet des procédés de fabrication sur l'expression de la qualité technologique du couscous de blé dur (BRAIBANTI-BASSANO). Mémoire d'Ingénieur. INA, El-Harrach, Alger. 83 pages.
- [175] OUNANE G., CUQ B., ABECASSIS J., YESLI A., OUNANE S. M., 2006. Effects of physicochemical characteristics and lipid distribution in algerian durum wheat semolinas on the technological quality of couscous. Cereal Chem. 83(4): 377-384.
- [176] Bourgeois C. M ; Mescle J. F et Zucca A.J, (1988). Microbiologie Alimentaire. Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire. Tome 1, Ed. Lavoisier, Paris, pp 9.

- [177] Guiraud J.P, (2003). Microbiologie Alimentaire. Ed DUNOD, Paris.
- [178] Cheftel J.C., Cheftel H., et Besancon S., 1997 : Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Ed. Lavoisier Tec et Doc. Paris. Pp.105-142.
- [179] Angélique Fontana Effets des traitements thermiques sur les produits alimentaires Techniques de l'Ingénieur 2011.
- [180] P. MAFART 1996 Génie industriel alimentaire, Tome 1 : Les procédés de conservation, 2ème Edition, , Tec&Doc, Lavoisier, Paris,
- [181] MATHIAS D. (1992). Les industries de cuisson céréalières, in : le sucre, les sucres, les édulcorants et les glucides de charges dans les IAA. Coord.J.L. Multon. Tec.et Doc. Lavoisier. Paris.
- [182] Belitz .H.-D, Grosch .W, Schieberle P 2009. Food Chemistry 4th revised and extended ed 1114p.
- [183] MOLINIÉ, A., FAUCET, V., CASTEGNARO, M. & PFOHL-LESZKOWICZ, A., 2005. Analysis of some breakfast cereals collected on the French market for their content in TA, Citrinin and Fumonisin B1. Development of a new method for simultaneous extraction OTA and Citrinin. *Food chemistry* **92**, 391-400.
- [184] Meriem Zaddem 2014 Application de la méthode des surfaces de réponse pour l'optimisation du blanchiment du son de blé par du peroxyde d'hydrogène et son incorporation dans une farine de pain, mémoire de Maîtrise en Génie Agroalimentaire Québec, Canada 110p.
- [185] Feillet P., Autran J.C., Icard-Verniere C., 2000. Bases biochimiques du brunissement des pâtes alimentaires. In Royo C. (ed), Nachit M.M.(ed) Di Fonzo N.(ed), Araus J.L (ed) Durum wheat improvement in the Mediterrean region: New challenges.L'amélioration du blé dur dans la region méditerranéenne:Nouveaux défis Zaragoza: CIHEAM-IAMZ, 2000.620p.
- [186] Kim H., Sieb P., Deyde G. et Yang H., 1986. Milling hard red winter wheat to farina : Comparison of cooking quality and color of farina and semolina spaghetti. *Cereal Food World*. Vol. 31. P : 810-819.
- [187] Taha S.A. et Sagi F., 1987. Relationships between chemical composition of durum wheat semolina and macaroni quality. II Ash, carotenoid pigments and oxidation enzymes, *cereal, Res. Com*. Vol. 15. P : 123-129.

- [188] Angar O. et Belhouchet L., 2002. Granulométrie du couscous : relation avec quelques paramètres de fabrication et la qualité culinaire. Thèse de Magister. DNATAA, Université Mentouri Constantine. 53 pages.
- [189] Dahoun-Lefkir S., 2005. Influence des conditions de l'hydratation sur la qualité technologique du couscous. Thèse de Magister. INA, El-Harrach, Alger. 100 pages.
- [190] Bekhouche .F, Merabti .R and Bailly J-D 2013 "Lemzeiet": Traditional couscous manufacture from fermented wheat (Algeria); investigation of the process and estimation of the technological and nutritional quality African Journal of Food Science and Technology ((ISSN: 2141-5455) Vol. 4(8) pp. 167-175 August, 2013
- [191]Chevallier S., Colonna P., Della Valle G et Lourdin D, (1999). Structural modifications of biscuit doughs during baking-Role of ingrédients. INRA. Paris. Les Colloques 91 : pp 191-197.
- [192] POTIER S., PASCAT B. et BRUNET P. (1989), Comparaison de trois techniques industrielles visant à conserver une génoise durant six mois, IAA mai 1989, 359-366.

APPENDICES

APPENDICE A : Matériel





APPENDICE B

Verreries et autres :

- Flacons
- Tube à essai
- Baguettes
- Béchers
- Nacelles (pour le four à moufle)
- Pipettes graduées
- Pipettes Pasteur
- Burette
- Boites Pétris
- Erlenmeyer
- Entonnoir en verre
- Éprouvette graduée

Produits et réactifs

- l'hydroxyde de sodium
- Chlorure de Sodium
- phénolphtaléine
- Ammoniac
- Acide sulfurique
- Acides sorbique
- Ethanol
- Dichlorométhane
- Na_2CO_3
- Rouge de méthyle
- Alun de fer
- Sulfite de sodium

APPENDICE C

Composition des milieux de cultures utilisées

L'eau physiologique :

- Chlorure de sodium
- Eau distillée
- pH = 7,5

Eau Tryptone-sel (TSE) :

Pour 1 litre de milieu :

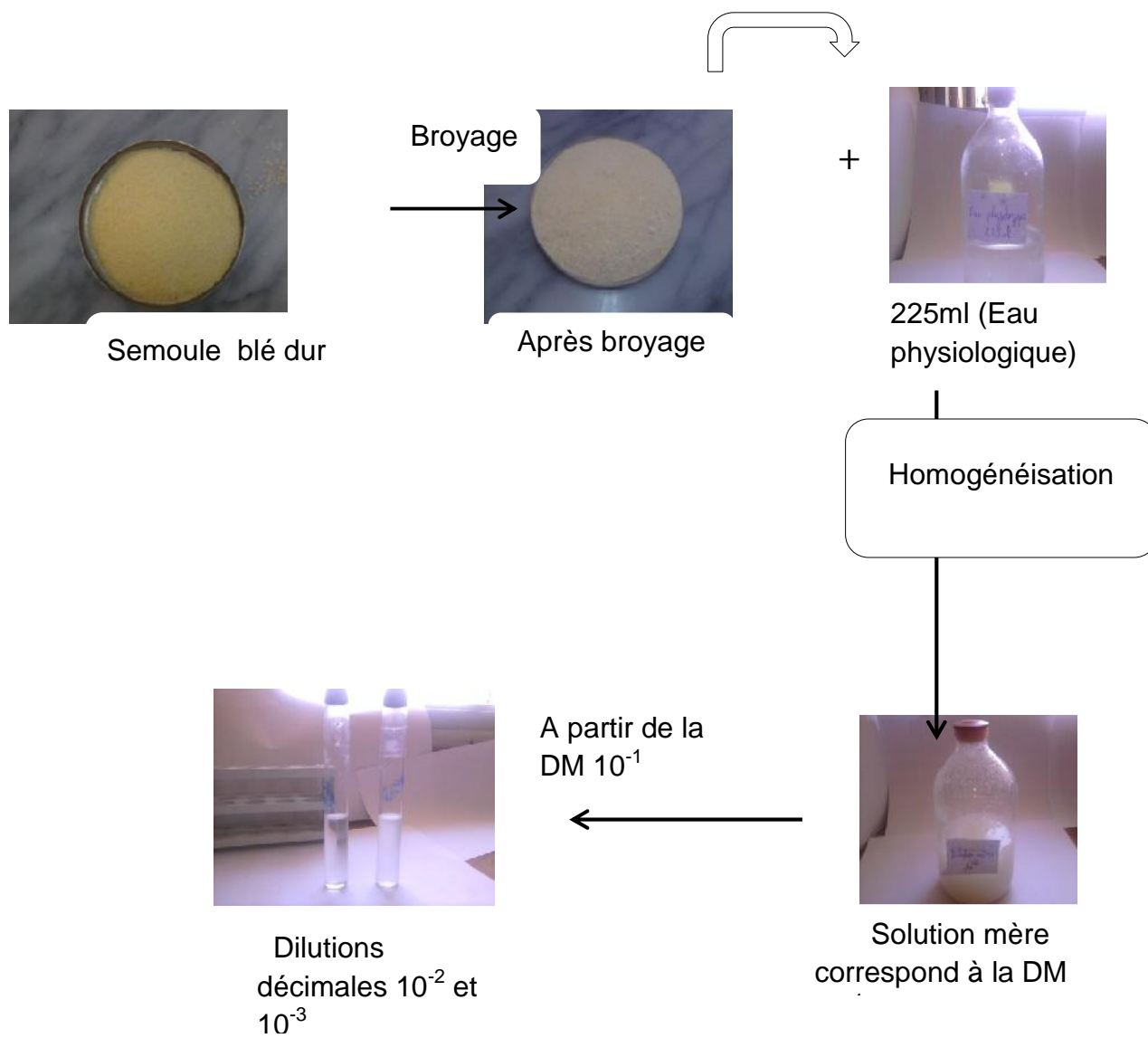
- Tryptone.....1,0 g
- Chlorure de sodium.....8,5 g
- pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,0 ± 0,2.

Milieu Oxytétracycline Gélose Agar (OGA) :

- Extrait de levure.....5g
- Glucose.....20g
- Agar.....16g
- Eau distillée.....100 ml
- Ph = 6,8 à 7

Milieu AGAR viande foie :

- Base viande foie.....20g
- Glucose.....0,75g
- Amidon.....0,75g
- Sodium sulfite.....1,2g
- Citrate de fer ammoniacal.....0,5g
- Carbonate de sodium.....0,67g
- Agar-agar.....11g
- Eau distillée.....1000 ml

APPENDICE D**Préparation des solutions mères et leurs dilutions décimales****Cas des produits solides (Semoule ,couscous)**

APPENDICE E : les enchantions des couscous obtenu

APPENDICE F :les enchantions des couscous obtenu(boite pétri)





APPENDICE G

La semoule de fabrication (photographie originale).



APPENDICE H

Différentes étapes d'extraction du Gluten



25g semoule SGM de blé dur + 12.5ml eau salée(NaCl)

Formation d'une pâte

Laisser reposer 30mn

Malaxage sous un courant d'air



Élimination d'amidon

Mettre dans une plaque chauffante pendant 10min



APPENDICE G**Table de MAC-GRADY**

Nombre caractéristique	Nombre de Micro-organismes
000	0,0
001	0,3
010	0,3
011	0,6
020	0,6
100	0,4
101	0,7
102	1,1
110	0,7
111	1,1
120	1,1
121	1,5
130	1,6
200	0,9
201	1,4
202	2,0
210	1,5
211	2,0
212	3,0
220	2,0
221	3,0
222	3,5
223	4,0
230	3,0
231	3,5
232	4,0
300	2,5
301	4,0
302	6,5
310	4,5
311	7,5
312	11,5
313	16,0
320	9,5
321	15,0
322	20,0
323	30,0
330	25,0
331	45,0
332	110,0
333	140,0