

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité/Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Département : Biologie

Thème

Incorporation de la spiruline dans les pâtes alimentaires « Trida »

Présenté par :

- ❖ AZOUZ Amani
- ❖ BOURIACHE Maya
- ❖ NEZAR Latifa

Devant le jury composé de :

Président :	Dr. MERZOUG Abdelghani	MCB	Université de Guelma
Examinatrice :	Pr. LAOUABDIA-SELLAMI Nadjette	Pr	Université de Guelma
Encadreur :	Dr. MEZROUA El Yamine	MCB	Université de Guelma

JUIN 2023

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions le Dieu, Le Tout Puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer notre travail.

Nous tenons à remercier Dr. MERZOUG Abdelghani d'avoir accepté de présider le jury de la soutenance. Nous tenons à remercier également Pr. LAOUABDIA-SELLAMI Nadjette d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Ainsi, nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profonde gratitude et notre sincères remerciements à notre encadrant Dr. MEZROUA El Yamine, Maitre de conférence pour sa précieuse aide, ses orientations et le temps qu'il nous a accordé pour mon encadrement.

Nos vifs remerciements pour tous les membres de laboratoire de notre Université 8 mai 1945 Guelma.

Nos remerciements les plus sincères et les plus profonds sont adressés à l'ensemble du personnel du laboratoire et tous les employés de l'usine de moulins de Amor ben Amor, commune d'EL Fedjoudj, Wilaya de Guelma spécialement pour Mr Khaled GHOUILA et Mme KEHL RAS Assia, pour nous avoir accepté et aidé au niveau des moulins Amor Benamor.

Toute notre gratitude à tous nos enseignants qui nous ont formé et nos collègues d'étude particulièrement notre promotion « contrôle du qualité et sécurité alimentaire ».

Nous tenons également à remercier infiniment tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Sommaire

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

Introduction générale 1

PREMIERE PARTIE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 01 : LES ALGUES

1. Définition des algues	3
2. Caractères généraux des algues	3
3. Classification des algues.....	4
3.1. Algues vertes (Chlorophycées).....	4
3.2. Algues brunes (Phéophycées).....	4
3.3. Algues rouges (Rhodophycées)	5
3.4. Algues bleues (Cyanobactéries)	6
4. Composition biochimique des algues	6
5. Reproduction des algues	7
6. Intérêt des algues	7
6.1. Alimentation Animale	7
6.2. En alimentation humaine	8
6.3. En cosmétique	9
6.4. En agriculture	10
6.5. En pharmacologie et en médecine	10

CHAPITRE 02 : LA SPIRULINE

1. Définition de la spiruline	11
2. Historique	11
3. Morphologie	12
4. Cycle biologique de reproduction.....	12
5. Taxonomique	13

Sommaire

6.	Composition et valeur nutritionnelle	14
6.1.	Protéines	14
6.2.	Glucides	14
6.3.	Lipides	14
6.4.	Minéraux.....	15
6.5.	Vitamines.....	16
6.6.	Enzymes	16
6.7.	Pigments	16
6.7.1.	Chlorophylle	16
6.7.2.	Phycocyanine.....	17
6.7.3.	Béta-carotène	17
7.	Principales applications de la spiruline	17
7.1.	En alimentation humaine	17
7.2.	En alimentation animale	18
7.3.	En cosmétique	18
7.4.	En thérapeutique	18

CHAPITRE 03 : LES PÂTES ALIMENTAIRES

1.	Définition des pâtes alimentaire	20
2.	Classification des pâtes alimentaires	20
2.1.	Pâtes extrudées (pressées ou tréfilées).....	20
2.2.	Pâtes laminées	20
3.	Qualité des pâtes alimentaires	20
3.1.	Aspect des pâtes alimentaires	20
3.2.	Qualité culinaire	21
3.3.	Qualité hygiénique.....	21
3.4.	Qualité hygiénique.....	21
4.	Consommation de pâtes dans le monde	22

DEUXIEME PARTIE
PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 04 : MATERIELS ET METHODES

1. Présentation du lieu d'étude (Usine Amor Benamor)	24
2. Matière première	25
2.1.semoule	25
2.2.Spiruline	26
3. Paramètre de qualité de la matière première (la semoule)	27
3.1.Granulométrie	27
3.2.Humidité	28
3.3.Couleur	29
3.4.Cendres	30
4. Fabrication de la pâte alimentaire « Trida » à base de spiruline	31
4.1.Hydratation et malaxage	31
4.2.Pétrissage de la pâte.....	32
4.3.Mise en forme	33
4.4.Séchage.....	34
5. Appréciation de la qualité du produit fini « Trida ».....	34
5.1.Couleur de la pâte	34
5.2.Dimension du produit fini	34
5.3.Humidité de produit fini « Trida »	35
5.4.Cendres de la pâte alimentaire « Trida ».....	35
6. Qualité culinaire du produit fini « Trida »	36
6.1.Temps optimal de cuisson	35
6.2.Consistance de la pâte.....	36
6.3.Indice de gonflement (Poids à la cuisson).....	36
7. Evaluation sensorielle de « Trida »	37
7.1.Déroulement de l'analyse	37

CHAPITRE 05 : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultat des paramètres de qualité de la matière première	39
1.1.Granulométrie	39

Sommaire

1.2.Humidité	40
1.3.couleur	40
1.4.cendre.....	42
2. Résultats des paramètres de qualité de produit fini	42
2.1.Aspect visuelle du produit fini «Trida».....	42
2.2.Couleur	44
2.3. Humidité	46
2.4.Cendres	47
3. Qualité culinaire de produit fini «Trida »	47
3.1.Temps optimal de cuisson	49
3.2.Dimensions et la consistance de la pâte cuite.....	49
3.3.Indice de gonflement (Poids à la cuisson).....	50
4. Analyses sensorielles	50
Conclusion	53
Références bibliographiques.....	55
Glossaire	64
Annexes	

Liste des tableaux

Tableau 01 : Algues autorisées pour l'alimentation humaine (CEVA, 2014).....	9
Tableau 02 : Teneur moyenne des minéraux (Falquet et Hurni, 2006).....	15
Tableau 03 : Consommation des pâtes alimentaires dans les différents pays (UNAFPA, 1999).	23
Tableau 04 : Codage des assiettes.....	38
Tableau 05 : Teneur en cendres de la semoule (matière première).	42
Tableau 06 : Résultat de l'aspect visuel du produit fini « Trida » de chaque essai après le séchage.	44
Tableau 07 : Temps optimal de cuisson de la pâte.	49
Tableau 08 : Résultat des tests de cuisson du produit fini « Trida ».	49

Liste des figures

Figure 01 : <i>Ulva lactuca</i> (algue verte).....	4
Figure 02 : <i>Cystoseira crinita</i> (algue brune)	5
Figure 03 : <i>Asparagopsis armata</i> (algue rouge).....	5
Figure 04 : Photo d'algue bleue.....	6
Figure 05 : Les différents aspects de la spiruline. (A) spiralés, (B) ondulée, (C) droite. (Goulamabasse, 2018).....	12
Figure 06 : Cycle de vie de la spiruline. (Ciferri, 1983).....	13
Figure 07 : Présentation satellite du site d'étude (les moulins MAB - El Fedjoudj - Guelma).	24
Figure 08 : Photo extérieure des Moulin Amor Benamor.	24
Figure 09 : Photo du laboratoire de contrôle qualité des moulins Amor Benamor.	25
Figure 10 : Photo du sac de semoule Amor Benamor de 10 kg.	26
Figure 11 : La poudre de la spiruline.....	26
Figure 12 : Photo de tamiseur ROTACHOC.....	28
Figure 13 : Photo de dessiccateur halogène (HG63).	29
Figure 14 : Mesure de la couleur de matière première (semoule).	30
Figure 15 : Photo de four à moufle d'incinération.	30
Figure 16 : Diagramme de fabrication de « Trida ».	31
Figure 17 : Hydratation et malaxage de la semoule et de la spiruline.....	32
Figure 18 : Pétrissage manuel de la pâte.	32
Figure 19 : Etapes de fabrication de la pâte « Trida ».	33
Figure 20 : Stockage de Trida dans des boites en plastique.	34
Figure 21 : Détermination des dimensions de la pâte sèche.....	35
Figure 22 : Test de cuisson de la pâte Trida.	36
Figure 23 : la salle de l'analyse sensorielle.	37

Liste des figures

Figure 24 : Photo de déroulement des analyses sensorielles.....	38
Figure 25 : Granulométrie de la semoule.	39
Figure 26 : Couleur de la semoule.....	41
Figure 27 : Pâtes alimentaires sèche enrichies par la poudre de la spiruline.	43
Figure 28 : Couleur de la pâte « Trida ».....	45
Figure 29 : Teneur en eau de la pâte « Trida ».....	46
Figure 30 : Taux de cendre de la pâte.....	47
Figure 31 : Pâtes alimentaires cuites enrichies par la poudre de spiruline.	48
Figure 32 : Indice de gonflement des pâtes enrichies.....	50
Figure 33 : Profil sensoriel des pâtes sèche étudiée pâte témoin, à base de spiruline (1%, 3%, 5%).	51
Figure 34 : Profil sensoriel des pâtes cuites étudiée pâte témoin, à base de spiruline (1%, 3%, 5%).	52
Figure 35 : Résultats de l'acceptabilité globale de « Trida » enrichie.	53

Liste des abréviations et acronyme

ADN	Acide désoxyribonucléique
AFNOR	Association Française de Normalisation
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
C	Cytosine
CEVA	Centre d'Etude et de Valorisation des Algues
CIE	Commission international d'éclairage
CODEX	Commission du codex alimentarius faisant partie de la FAO/OMS
G	Guanine
GAB	Groupe Amor Benamor
MAB	Moulins Amor Benamor
SP	Spiruline
VIH-1	Le virus de l'immunodéficience humaine -1
VIH-2	Le virus de l'immunodéficience humaine -2

Résumé

L'enrichissement des pâtes alimentaires par d'autres sources nutritionnelles est une pratique très répandue dans les recherches scientifiques. L'objectif du présent travail consiste à évaluer l'impact de l'incorporation de la spiruline sur la qualité physico-chimique, culinaire, technologique et organoleptique des pâtes alimentaires « Trida ». Pour ce faire, trois doses d'incorporation (1%, 3%, 5%) sont étudiées. Les analyses physico-chimiques montrent que le taux de cendres et d'humidité augmentent en fonction de dose de spiruline. Néanmoins, l'indice de jaune est négativement impacté par l'addition de spiruline. Par ailleurs, l'étude de la qualité culinaire des pâtes enrichies démontre un bon indice de gonflement, une capacité d'absorption et un temps de cuisson élevés par rapport au témoin. Cependant, les analyses sensorielles réalisées révèle que les pâtes produites à partir du mélange (99 % semoule /1 % de la spiruline) sont les plus appréciées par les dégustateurs par rapport aux doses de 3% et 5% de spiruline.

Mots-clés : Spiruline, semoule, pâte alimentaire (trida), incorporation, qualité.

Abstract

The enrichment of pasta with other nutritional sources is a widespread practice in scientific research. The objective of the present work is to evaluate the impact of the incorporation of spirulina on the physicochemical, culinary, technological and organoleptic quality of pasta « Trida ». To do this, three doses of incorporation (1%, 3%, 5%) are studied. The physico-chemical analyses show that the rate of ash and moisture increase according to the dose of spirulina. Nevertheless, the yellow index is negatively impacted by the addition of spirulina. Moreover, the study of the culinary quality of the enriched pasta shows a good swelling index, an absorption capacity and a high cooking time compared to the control. However, the sensory analysis carried out reveals that the pasta produced from the mixture (99% semolina /1% spirulina) is the most appreciated by the tasters compared to the doses of 3% and 5% spirulina.

Key words: Spirulina, semolina, food paste (trida), incorporation, quality.

الملخص

تعد عملية إثراء المعجنات بمصادر غذائية أخرى طريقة عملية جد مستعملة في البحث العلمي. الهدف من هذا العمل هو تقييم تأثير دمج مسحوق طحالب سيبرولينا على الجودة الفيزيائية والكيميائية، الطهي، التكنولوجيا والحسية للمعجنات الغذائية التقليدية التي تعرف باسم "التريدة". وللقيام بذلك، قمنا بالدراسة اعتماداً على دمج ثلاث جرعات من السيبرولينا بنسب 1٪، 3٪ و 5٪. نتائج التحليلات الفيزيائية والكيميائية أظهرت أن معدل الرماد والرطوبة يزداد حسب جرعة السيبرولينا المدججة. ومع ذلك، فإن مؤشر إصفرار المادة الأولية المستخدمة، والمتمثلة في السميد، يتأثر سلباً بإضافة السيبرولينا. علاوة على ذلك، تُظهر دراسة جودة الطهي للثريدة مؤشر انتفاخ جيد، قدرة امتصاص ووقت طهي مرتفعان مقارنةً مع العينة الشاهد. في حين كشفت التحليلات الحسية التي تم إجراؤها أن المعجنات المنتجة من الخليط (99٪ سميد / 1٪ سيبرولينا) هي الأكثر تقديراً من قبل المتذوقين مقارنة بجرعات 3٪ و 5٪ من سيبرولينا.

الكلمات المفتاحية: معجنات غذائية (تريدة)، السيبرولينا، السميد، دمج، الجودة.

Introduction générale

Les céréales et leurs dérivés constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (**Djermoun, 2009**).

Le blé dur (*Triticum durum* Desf) en particulier est considéré comme étant le principal apport énergétique (**Hamroun, 2006**) et la source principale de la semoule pour la production des pâtes alimentaires, couscous industriel, etc. (**Raffio et al., 2003**). Cependant, l'apport protéique de blé dur reste insuffisant et doit être complété, pour cette raison, la recherche d'autres ingrédients riches en protéines a un intérêt particulier.

Les pâtes alimentaires c'est un terme général utilisé pour un grand nombre de produits fabriqués à base de pâte sans fermentation. Elles sont essentiellement constituées de semoule de blé dur aux quelles l'eau est ajoutée et soumises à des transformations mécaniques telles que le mélange, le pétrissage, l'extrusion et le séchage. Elles sont universellement consommées en raison de : la simplicité de leur fabrication, leur facilité de transport, leur excellente aptitude à la conservation et au stockage, leur qualité nutritionnelle et hygiénique, leur diversité des modes de préparations, tous ces facteurs favorisent leur utilisation et leur consommation (**Petitot et al., 2009**).

Par ailleurs, les algues alimentaires encore méconnues en comparaison des plantes terrestres, attirent de plus en plus la curiosité et l'intérêt des consommateurs et des médias. Concentrés d'éléments nutritifs de qualité, indispensables à notre corps, elles recèlent des propriétés intéressantes tant pour l'alimentation que pour l'industrie agroalimentaire (**Le Bras et al., 2016**).

Elles sont considérées comme des ressources alimentaires non conventionnelles, plusieurs d'entre elles ont été adoptées par le consommateur comme la spiruline. C'est une cyanobactérie multicellulaire et filamenteuse qui a intéressé les scientifiques par sa richesse nutritionnelle et ses multiples intérêts thérapeutiques.

Cette algue bleu-vert connaît par sa valeur nutritive élevée en protéines (60-70% en poids sec), vitamines, minéraux, acides gras essentiels, constitué une bonne source de chlorophylle, de caroténoïdes et surtout de phycocyanine qui ont des avantages pour la santé humaine ; elle possède des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, immunostimulantes,

antitumorales, antibactériennes, antivirales, et de nombreuses autres propriétés thérapeutiques (Abdallah et *al.*, 2020).

Malgré la richesse de la spiruline en nutriments nutritionnels et en molécules bioactives, sa consommation et son utilisation reste insuffisant surtout à l'échelle industrielle. L'objectif de ce travail est d'étudier l'incorporation de la spiruline dans les pâtes alimentaires « Trida » et son effet sur la qualité technologique, culinaire et organoleptique de cette pâte alimentaire.

Ce travail est structuré en deux parties :

- ✓ La première partie consiste en une synthèse bibliographique sur les algues et notamment la spiruline et les pâtes alimentaires,
- ✓ Et la deuxième partie est consacrée pour la partie expérimentale de notre travail. Elle décrit le matériel et les différentes méthodes mis en œuvre dans cette étude et les résultats obtenus et leur interprétation.

PREMIERE PARTIE
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 01

Les algues

Les algues sont un groupe des végétaux qui existent depuis l'antiquité. Les algues regroupent plus de 130 000 espèces dans le monde. Elles sont diversifiées en *Cyanophycées*, *Rhodophycées*, *Chlorophycées* et *Chlorophycées* (**Perez, 1997**).

Les algues marines jouent un rôle primordiale dans divers domaines, tel que l'industrie, la pharmacologie et la médecine, plusieurs espèces d'algues ont diverses activités inhibitrices d'enzymes, des effets vermifuges (*Alsidium helminthocorton*, *Digenea simplex*, etc.), hypoglycémiantes (*Corallina*, *Cystoseira*, *Pterocladia*, etc.), antihypertenseurs (*Chondrus*, *Laminaria*, etc.), anticoagulants (*Chondrus*, *Corallina*, *Delessaria*, *Laminaria*, etc.), cardiotoniques (*Undria pinnatifida*), anti-inflammatoires, antibactériens, antifongiques et antiviraux (*Chondrus*, *Cladophora*, *Ulva*, *Fucus*, etc.) (**Nakajima, 2009**).

1. Définition des algues

Les algues regroupent un ensemble de végétaux photosynthétiques très divers. Elles sont dépourvues de tiges, de racines, de feuilles ou de fleurs et leur appareil végétatif relativement simple et appelé « thalle » (**Guillaume, 2010**).

Elles sont essentiellement aquatiques dans les eaux douces ou marines, et certaines vivent sur la neige ou la glace des régions polaires et des hautes montagnes. D'autres, tolèrent les eaux des sources thermales à températures élevées (algues thermophiles) (**Komprobst, 2005**).

Elles peuvent être libres ou attachées à des supports, leur taille varie de moins d'un micron (ex. *Prochlorococcus* (0,5 µm)) à plusieurs dizaines de mètres (ex. *Macrocystis* (60 m)) (**Leclerc, 2010**).

Il est difficile de déterminer le nombre réel d'espèces car leur diversité est inconnue, et il est difficile de les répertorier et les classer. Récemment, le nombre d'espèces enregistrés était de 136 207 (**Guiry et Guiry, 2014**).

2. Caractères généraux des algues

Les algues sont des végétaux photosynthétiques. Leurs appareils végétatifs sont composés d'un thalle, d'où vient le nom thallophyte. Elles sont des plantes cryptogames car elles ne produisent ni fruits ni graines ni fleurs.

Il existe certaines espèces, qui hébergent principalement les milieux aquatiques des eaux saumâtres et douces, d'autres sont terrestres.

Toutes les algues contiennent de la chlorophylle et font la photosynthèse, par contre la couleur du thalle n'est pas toujours verte à cause de la présence d'un pigment spécifique qui

intervient dans la division d'algue. De ce fait, une classification préliminaire peut être faite en fonction de la couleur des algues (**Morris et Lewin 1974**).

3. Classification des algues

En général, le terme algue réunit quatre grands groupes en fonction de leur couleur. Dont chaque groupe comprend des rangs taxonomiques de base : la classe, l'ordre, la famille, le genre et l'espèce (**Garon-Lardiere, 2004**).

3.1. Algues vertes (Chlorophycées)

Ces algues se présentent sous diverses formes, uni ou pluricellulaires allant de la taille micro au macroscopique. Leurs plastes sont colorés en vert par la chlorophylle a et b, associées au carotène et des xanthophylles, similaires aux plantes supérieures.

L'amidon se forme par la photosynthèse, la plupart des algues vertes vivent dans les milieux aquatiques doux ou marins, mais certaines espèces peuvent également pousser sur terre. Ces derniers, jouent un rôle important dans l'oxygénation des eaux, profitant ainsi à la vie animale (**Garon-Lardiere, 2004**).



Figure 01 : *Ulva lactuca* (algue verte)

3.2. Algues brunes (Phéophycées)

La couleur brune de ces algues est issue de la dominance du pigment xanthophylle et fucoxanthine, qui dissimulent d'autres pigments (chlorophylle et bêta-carotène). La totalité des algues brunes ont une structure multicellulaire, néanmoins leur taille varie d'éléments microscopiques aux gros spécimens. La plupart des algues brunes sont des organismes marins (**Garon-Lardiere, 2004**).



Figure 02 : *Cystoseira crinita* (algue brune)

3.3. Algues rouges (Rhodophycées)

Les *Rhodophycées* ou algues rouges forment un groupe très diversifié. Elles doivent leur composition pigmentaire par la présence de plastes roses dans lesquelles le pigment rouge phycoérythrine est associé à plusieurs autres pigments dont la chlorophylle. La plupart de ces algues sont multicellulaires et marines, mais il existe des formes unicellulaires, certaines vivent également dans les eaux douces.

Ces derniers, sont divisées en deux groupes : Celui des *Bangiophycées* (pensé primitif) et celui des *Florideophycées* (plus complexe). Elles se distinguent souvent par des cycles de reproduction particulièrement complexes (**Garon-Lardière, 2004**).



Figure 03 : *Asparagopsis armata* (algue rouge)

3.4. Algues bleues (Cyanobactéries)

Les *cyanobactéries*, ou algues bleu-vert, sont constituées de colonies de taille, de forme et de couleur très variables. Similaire aux algues rouges, elles possèdent des pigments bleus (phycocyanine) et rouges (phycoérythrine) supplémentaires qui cachent la chlorophylle a.

Malgré leur ancienne appellation de cyanobactéries, elles sont rarement bleues, mais plus communément rouges ou vertes, avec des reflets bleus, violets, marron, jaunes ou orangés. La plupart d'entre elles ont une consistance gélatineuse voire visqueuse en raison du mucus qu'elles sécrètent (**Garon-Lardière, 2004**).



Figure 04 : Photo d'algue bleue

4. Composition biochimique des algues

Les algues sont une source importante de fibres (33% à 61%) et ont une variété de structures primitives qui diffèrent des fibres des végétaux terrestres (**Lahaye, 1991**).

Généralement, les algues sont constituées à 80 % d'eau. Séchées, elles n'en contiennent que 10% à 20%. Elles sont constituées de 80% à 90% de glucides, de protéines, de minéraux, de vitamines et faible quantité de matières grasses, environ 1% à 2% (**Cayla, 1995**).

- **Les protéines** : La teneur en protéines varie (d'environ 4% à 44%) selon la variété, la saison et d'autres facteurs. Les variétés plus riches en protéines sont certaines *Porphyra*, *Enteromorpha*, *Ulva* et *Spirulina* (**Cayla, 1995**).
- **Les lipides** : Les algues sont très faibles en gras. La plupart des acides gras sont insaturés. Le principal acide gras est l'acide oléique (**Cayla, 1995**).

- **Les glucides** : Les principaux sucres des algues sont le mannitol chez les *Fucophcées* et le sorbitol chez les *Rhodobiontes*. Le mannitol se trouve sous forme de poudre blanche à la surface d'espèces telles que *Laminaria*. C'est un stimulant du foie avec un léger effet laxatif. Le sorbitol est un sucre très sucré utilisé dans l'alimentation, notamment chez les diabétiques (Cayla, 1995).
- **Les minéraux et les oligo-éléments** : Les algues sont riches en : aluminium, chlore, iode, phosphore, plomb, etc.
- **Les vitamines** : Les algues contiennent les vitamines : B1, B2, B3, B6, C, E, K et la vitamine B12 (dont les algues sont les seules plantes à en contenir, puisqu'il s'agit d'une vitamine d'origine animale (Cayla, 1995).
- **Les polysaccharides** : Ce sont des glucides de type amidon, cellulose (Cayla, 1995).

5. Reproduction des algues

Les algues poussent souvent par propagation végétative. C'est la reproduction sexuée, qui consiste en la division de cellules solitaires (dans le cas des cyanobactéries) ou la fragmentation du thalle, conduisant à la formation de plusieurs organismes identiques.

Souvent, la formation de cellules spécialisées, les spores, se fait par les algues eucaryotes qui se reproduisent également sexuellement. Dans ce cas, deux cellules germinales ou gamètes se combinent pour produire un œuf ou un zygote. Ainsi, la reproduction algale se produit après une alternance d'étapes de reproduction asexuée, assurée par le thalle (sporophyte), et de reproduction sexuée, assurée par les gamètes (gamétophytes) qui produisent le thalle (Garon-Lardière, 2004).

6. Intérêt des algues

Les algues marines ont une place importante en pharmacologie et en médecine, et font donc l'objet de développements industriels importants : alimentation, cosmétologie, agriculture et élevage, etc. (Komprobst, 2005).

6.1. En alimentation Animale

Sur de longues périodes, les animaux (ovins, bovins et équidés) qui vivaient en zones côtières consommaient des macro-algues brunes, surtout dans les pays où celles-ci étaient rejetées sur le rivage. D'ailleurs, l'algue rouge *palmariapalmata* était appelée « goémon à vache ». Les premiers essais de supplémentation de la ration alimentaire d'animaux d'élevage ont fait apparaître une bonne acceptabilité, digestibilité et une bonne assimilation des algues.

Aujourd'hui, la disponibilité de macro-algues pour animaux s'est accentuée avec la production de farines. Les macro-algues utilisées en alimentation comme *ascophylumnodosum* et *laminariadigitata* fraîchement coupées, sont broyées en fins particules et séchées. Leur analyse a montré qu'elles contenaient des quantités importantes de minéraux, oligoéléments et vitamines. Les oligo-éléments qui sont des éléments essentiels requis pour les mammifères à des petites quantités tels que le fer, le zinc, le cobalt, le chrome, la molybdène, le nickel, le fluor et l'iode (Chouikhi, 2013).

6.2. En alimentation humaine

Les algues sont consommées en Asie depuis l'aube de l'humanité. En occident, cette consommation directe d'algues est plus marginale et plus récente. Elles ont été récemment approuvées pour une consommation humaine (comme légumes et condiments), ouvrant ainsi de nouvelles opportunités pour l'industrie agro-alimentaire (Mabeau et Fleurenc, 1993).

Ces macro-algues contiennent des protéines, lipides, vitamines et minéraux et constituent donc une source d'aliment précieuse (Sanchez-Machado *et al.*, 2004 ; Noziah et Ching, 2000).

Environ 75% de la production mondiale d'algues (8 millions de tonnes d'algues fraîches) est destinée à l'alimentation humaine directe.

Cette habilitation des algues en alimentation s'est accompagnée de la mise en place d'une réglementation visant à assurer la sécurité du consommateur. À ce jour, 24 algues dont 3 micro-algues sont utilisables. Parmi les macro-algues, on dénombre 8 algues brunes, 11 rouges et 2 vertes (Tableau 1).

Tableau 01 : Algues autorisées pour l'alimentation humaine (CEVA, 2014)

Famille	Nom scientifique	Nom commun
Algues brunes	- <i>Ascophyllum nodosum</i>	-
	- <i>Fucus vesiculosus+serratus</i>	-
	- <i>Himantalia elongata</i>	Spaghetti de mer
	- <i>Undaria pinnatifida</i>	Wakame
	- <i>Laminaria digitata</i>	Kombu
	- <i>Laminaria saccharina</i>	Kombu Royal
	- <i>Laminaria japonica</i>	Kombu
	- <i>Alaria esculenta</i>	Atlantic wakame
Algues rouges	- <i>Palmaria palmata</i>	Dulse
	- <i>Porphyra umbilicalis</i>	Nori
	- <i>Porphyra tenera</i>	-
	- <i>Porphyra yezoensis</i>	-
	- <i>Porphyra dioica</i>	-
	- <i>Porphyra purpurea</i>	-
	- <i>Porphyra laciniata</i>	-
	- <i>Porphyra leucostica</i>	-
	- <i>Chondrus crispus</i>	Pioca,lichen
	- <i>Gracilaria verrucosa</i>	Ogonori
	- <i>Lithothamnium calcareum</i>	Maerl
Algues vertes	- <i>Ulvasp</i>	Laitue de mer
	- <i>Enteromorpha sp</i>	Aonori
Micro algues	- <i>Spirulina sp</i>	-
	- <i>Odontella aurita</i>	-
	- <i>Chlorella sp</i>	-

6.3. En cosmétique

L'utilisation des algues et des extraits d'algues dans les cosmétiques est apparue principalement dans les pays développés depuis le dernier quart du 20^{ème} siècle. Les extraits d'algues sont régulièrement utilisés dans les crèmes cosmétiques (**Spolaore, 2006**).

A noter que pour des raisons de formulation, l'utilisation de poudre d'extrait d'algue est plus fréquente que l'utilisation de la plante entière. De nombreuses études tendent à améliorer l'utilisation des algues, notamment compte tenu des problèmes économiques importants liés aux cosmétiques labellisés bio (**Dabouneau, 2004**).

La production de microbilles d'alginate, capables d'encapsuler des principes actifs et des colorants cosmétiques, est un exemple démontrant le potentiel éco-social des substances macromoléculaires issues des algues.

6.4. En agriculture

Trois grands secteurs de l'agriculture utilisent les algues marines :

- L'emploi du maërl pour l'amendement des sols acides.
- Emploi des algues comme fertilisant et engrais (ex. Varech ou goémon)
- Utilisation des phycocolloïdes pour la rétention de l'humidité des sols.

Quelques revues présentent tous les aspects de l'utilisation des algues en agriculture et contiennent une abondante bibliographie détaillée, en particulier (**Metting et al., 1988 ; Blunden, 1991**).

6.5. En pharmacologie et en médecine

Plusieurs composés chimiques isolés des macro-algues sont biologiquement actifs dont certains possèdent une activité pharmacologique efficace (**Rorrer et Cheney, 2004**).

Une étude sur l'isolement et la détermination de la structure chimique de nouveaux métabolites secondaires pouvant présenter des activités biologiques à potentialités pharmacologiques a été réalisée à partir de deux algues méditerranéennes : *Cystoseira crinita* (phéophycée) et *Lyngbya majuscula* (cyanophycée) (**Praud, 1994**).

Aujourd'hui, environ 4000 nouveaux métabolites ont été isolés à partir de divers organismes marins et jusque dans les années 1990, ce sont les algues qui ont plus intéressé les chercheurs (**Praud, 1994**).

Chapitre 02
La spiruline

Les cyanobactéries, anciennement appelées algues bleues, sont des bactéries photosynthétiques qui produisent de l'oxygène. Elles présentent une énorme diversité morphologique et peuvent être unicellulaires ou filamenteuses, regroupées en colonies ou sous des formes solitaires.

Le genre *Arthrospira* comprend des cyanobactéries filamenteuses, parmi lesquelles figure une bactérie particulièrement intéressante, *Arthrospira platensis*, plus connue sous le nom de Spiruline, riche en nutriments tels que les protéines, les glucides, les lipides, les vitamines et les minéraux, elle est consommée par certains peuples d'Afrique et des d'Amérique depuis des siècles (Sguera, 2008).

1. Définition de la spiruline

La Spiruline, partie des cyanobactéries, micro-organisme procaryote bleu-vert. Comme les plantes, elle peut utiliser l'énergie lumineuse pour la photosynthèse et la production d'oxygène (Jung *et al.*, 2019).

La plupart des spirulines poussent dans les régions tropicales et subtropicales dans des eaux chaudes, alcalines, fortement minéralisées, riches en carbonates et bicarbonates et relativement élevées en pH et en salinité (Scheldeman *et al.*, 1999).

Pour les raisons suivantes, la Spiruline à long temps a été comptée parmi les « cyanobactéries » :

- Sa forme algale ;
- Sa couleur est liée à la teneur en pigments bleu (phycocyanine) et vert (chlorophylle) (Roger, 2006).

2. Historique

La spiruline est utilisée pour la première fois par les peuples dans l'antiquité, puis par les Aztèques (peuple de Mexique) et les populations du Tchad, elle était utilisée comme farine pour les gâteaux et les tortillas.

Au XV^e siècle, les soldats de l'empereur parcouraient certains kilomètres en mangeant à chaque pause la spiruline, afin d'apporter du poisson à l'empereur. Les aztèques ont récoltaient dans le lac de texcoco une boue bleue verte qu'ils faisaient sécher au soleil. Cette boue était utilisée comme un complément de farine qu'ils mangeaient comme du fromage ou pour le pain.

En 1827, c'est la redécouverte de la spiruline par Turpin qui l'isola à partir un échantillon de l'eau douce. En 1844, les deux chercheurs Nordstedt et Wittrockont signalés la présence

d'une micro algue bleu-vert, ne fut vraiment redécouverte qu'en 1940 au Tchad par un botaniste français nommé Dihé (Audrey, 2016).

3. Morphologie

La spiruline a une morphologie très variable, selon la souche et les conditions de milieu de culture. Elle se compose de cellules végétatives qui présentent des parois facilement visibles, empilées bout à bout, appelées filaments ou trichomes.

La principale caractéristique morphologique du genre est l'arrangement de ces trichomes. Ces derniers, enveloppés d'une gaine très fine, présentent des réductions plus ou moins prononcées aux parois, non ramifier, avec un diamètre d'environ 10 à 12 μm et une longueur moyenne de 250 μm quand elle possède sept spires, flottent librement et présentent une motilité glissante (Charpy *et al.*, 2008).

Les facteurs environnementaux, principalement la température, les conditions physiques et le milieu de culture, peuvent affecter la géométrie de l'hélice, par conséquent, cette cyanobactérie montre une grande variété morphologique :

- **Spiralées** : désigne les souches dont les filaments ont la forme du ressort (**Figure 05.A**)
- **Ondulées** : désigne les souches dont les filaments sont en spirale étirée. (**Figure 05.B**)
- **Droites** : désigne les souches dont les filaments sont tellement étirés qu'ils donnent l'impression d'être presque rectiligne (**Figure 05.C**)

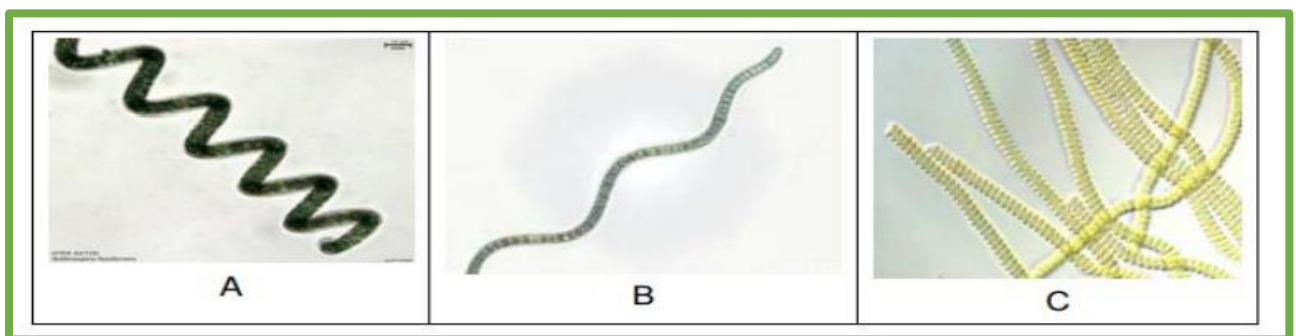


Figure 05 : Les différents aspects de la spiruline. (A) spiralés, (B) ondulée, (C) droite. (Goulamabasse, 2018)

4. Cycle biologique de reproduction

A la maturité, la spiruline se reproduit suivant un mode végétatif asexué, la multiplication ne se produit que par fragmentation ; le trichome forme des cellules spéciales appelées *nécriides* assimilées à des disques de séparation agissent comme des cellules spécialisées uniques, permettant la rupture du trichome, au niveau desquelles le trichome est divisé en plusieurs parties pour donner de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelées *Hormogonies*.

Les cellules d'hormogonie subissent des processus d'agrandissement et de maturation, chaque individu va donner deux individus par scissiparité, qui lui sont identiques génétiquement et plus ou moins morphologiquement (Théodore, 2017).

Ils prennent la forme typique hélicoïdale, suivant un cycle de développement décrit dans la Figure 6.

Il convient de noter que la spiruline a une grande capacité de reproduction, dès que le milieu est favorable, la souche doublant sa quantité en 4 jours (Manet, 2016).

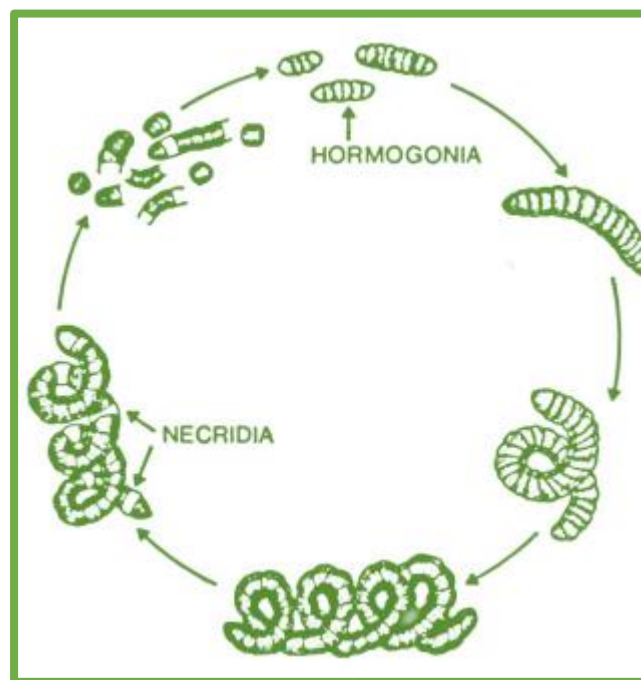


Figure 06 : Cycle de vie de la spiruline (Ciferri, 1983).

5. Taxonomique

La classification systématique de la spiruline a été étudiée par plusieurs auteurs. Considérée comme une algue à l'origine, une désignation finale en tant que cyanobactérie a été adoptée et acceptée par la suite pour figurer au « Bergey's Manual of Determinative Bacteriology » (Goulambasse, 2018).

D'un point de vue taxonomique, la spiruline s'y verra appartenir par les systématiciens au :

- **Règne** : *Monera* ;
- **Groupe ou Sous Règne** : *Procaryotes* ;
- **Embranchement** : *Cyanophyta* ;
- **Classe** : *Cyanophyceae* ;
- **Ordre** : *Nostocales* (ou *Oscillatoriales*) ;

- **Famille** : *Oscillatoriaceae* ;
- **Genre** : *Oscillatoria* .(Charpy et al. 2008)

Les deux espèces les plus connues sont *Spirulina platensis*, originaire d'Afrique et *Spirulina maxima* originaire d'Amérique centrale (Sguera, 2008).

Néanmoins, et plus récemment, l'idée de séparer les deux groupes *Spirulina* et *Arthrospira* a été partagée et affirmée par plusieurs auteurs sur la base de nombreuses caractéristiques telles que : l'hélicité et la taille du trichome, la visibilité sous microscope, la structure de la paroi cellulaire et des pores, les thylakoïdes, la motilité et la teneur en G + C (Vonshak, 2002).

6. Composition et valeur nutritionnelle

6.1. Protéines

La composition de la spiruline est de 60-70% de protéines, 15% de glucides, 6% de lipides, 7% de minéraux et 3-6% d'eau (Niangara, 2017). Les protéines présentes sont considérées comme le principal avantage de cette algue. Aucun autre aliment n'est aussi concentré (Barth et Léo, 2019).

Cependant, cette composition varie en fonction des conditions de croissance, du moment de la récolte, de l'origine géographique et de plusieurs autres paramètres (Niangara, 2017).

D'un point de vue qualitatif, la protéine de la spiruline est complète, c'est-à-dire contient tous les acides aminés essentiels et est de haute qualité (Jourdan, 2006).

Elles sont presque 100% assimilables, ce qui signifie que le corps peut les utiliser presque complètement. Cela fait partie de la richesse en nutriments de cette micro algue (Barth et Léo, 2019).

6.2. Glucides

Les glucides présents à hauteur d'environ 15% dans la spiruline sèche, sont principalement apportés sous forme de glycogène et de rhamnose. Le glucose, le fructose, le saccharose et les quelques polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol, ne sont présents qu'en très faibles quantités (Niangoran, 2017).

6.3. Lipides

La teneur totale en lipides représente 6,38% de la poudre de spiruline séchée, la teneur en acides gras de la spiruline est de 4,9% à 5,7% du poids sec, composée essentiellement de

monogalactosyldiglycérade et de digalactosyldiglycérade (23%), et de sulfoquinovosyldiglycérade (11.4%) (Xue *et al.*, 2002).

La spiruline est riche en acide γ -linoléique, un acide gras jusqu'à 40%, qui est un précurseur de plusieurs médiateurs chimiques des réponses inflammatoires et immunitaires. En effet, la spiruline est l'une des rares sources connues, après le lait maternel et certaines huiles végétales rares et très chères (onagre, bourrache, groseille, huile de chanvre) pourraient augmenter de +1,2 à +1,6% (Manet, 2016).

Les sulfamides, tels que les sulfoquinovosyldiglycérades, qui représentent 11,4 % des acides gras, ont une activité significative dans la protection contre les infections virales. Ils fonctionnent également comme un inhibiteur de la transcriptase inverse contre le VIH-1 et le VIH-2, bien que ces derniers soient intrinsèquement résistants à cette classe de molécules (Goulamabasse, 2018).

Des alcools stéroliques et terpéniques sont également présents, mais à l'état de traces. Les stérols spécifiques sont le clionastérol, l'avenastérol, le bêta-sitostérol et le cholestérol. Certains de ces stérols peuvent être liés à l'activité antibactérienne de la spiruline (Falquet et Hurni, 2006).

6.4. Minéraux

Outre l'importante concentration de la spiruline en différents macronutriments, elle contient aussi beaucoup de micronutriments tels que des minéraux, des vitamines et des pigments fortement antioxydants (Lecointre, 2017).

La haute teneur de la spiruline en fer (minéral essentiellement présent dans les aliments d'origine animale comme la viande, les abats et le poisson) la rend particulièrement populaire auprès des végétariens, sportifs, femmes enceintes et adolescents en phase de croissance (Michka, 2005).

Tableau 02 : Teneur moyenne des minéraux (Falquet et Hurni, 2006)

Minéraux	Teneur de la spiruline (mg/100g)	Doses requises (mg/jour)
Calcium	130-1400	1200
Phosphore	670-900	1000
Magnésium	200-400	250-350
Fer	60-600*	18
Zinc	2.1-600*	15
Cuivre	0.8-200*	1.5-3
Chrome	0.28	0.5-2
Manganèse	2.5-3.7	5

Suite de tableau 02

Sodium	450	500
Potassium	640-1540	3500
Sélénium	0.001-5*	0.05

* enrichissements spécifiques.

6.5. Vitamines

La spiruline offre de nombreuses vitamines qui contribuent au bon fonctionnement de notre organisme : des vitamines du groupe B (en particulier, vitamines B1, B2 et B12) qui participent au métabolisme énergétique et au fonctionnement du système nerveux et la β carotène, précurseur de la vitamine A, qui joue un rôle essentiel dans la vision, la reproduction des cellules et le fonctionnement normal du système immunitaire (**Miranda, 1998**).

La vitamine B12, la plus fortement représentée dans la spiruline, est de loin la plus difficile à obtenir dans un régime sans viande, car aucun végétal courant n'en contient (La spiruline est 4 fois plus riche que le foie cru, longtemps considérée comme meilleure source de vitamine B12) (**Jourdan, 2006**).

6.6. Enzymes

De nombreuses enzymes entrent aussi dans la composition de la spiruline, sortes de «facilitateurs» biologiques, dont l'exceptionnel SOD (superoxydedismutase), qui représente une arme majeure contre l'oxydation ou le vieillissement cellulaire (**Ahounou, 2018**).

6.7. Pigments

Les trois principaux pigments contenus dans la spiruline, responsables de sa couleur, sont la chlorophylle, la phycocyanine et la β carotène (**Sguera, 2008**).

6.7.1. Chlorophylle

Le taux de chlorophylle contenu dans la spiruline est d'environ 1%, l'un des plus élevés que l'on puisse trouver dans la nature (**Ahounou, 2018**).

Sa structure étroitement apparentée à celle de l'hémoglobine des mammifères lui confère parfois l'appellation de "sang vert". C'est à ce pigment photosynthétique que la spiruline doit sa couleur verte : bien que ce ne soit pas le pigment le plus important en quantité, son fort pouvoir colorant l'emporte sur les autres. Ce pigment aide à rétablir l'équilibre acido-basique, améliore la fonction cardiaque, régule le transit intestinal, augmente le nombre de globules rouges et favorise la guérison interne et externe (**Casal, 2019**).

6.7.2. Phycocyanine

La phycocyanine, quant à lui, est le plus exceptionnel pigment faisant partie de la composition de la spiruline (**Sguera, 2008**). Responsable de sa couleur bleutée, c'est le plus puissant antioxydant et anti-radicalaire que l'on puisse trouver. Véritable booster de nos défenses naturelles, il stimule la formation des globules rouges, favorise l'activité musculaire, inhibe la croissance des cellules cancéreuses et détoxifie l'organisme de tous produits chimiques nuisibles à notre corps (**Shmitz, 2014**).

6.7.3. Béta-carotène

La bêta-carotène, pigment orange, précurseur de la vitamine A, aussi présent dans la spiruline en grande quantité, joue un rôle important dans le renouvellement des cellules et dans les défenses immunitaires (**Charpy et al., 2008**). Possédant de nombreuses propriétés anti-antioxydants pour lutter contre le vieillissement des cellules, il permet aussi de réduire les risques de cancer, de favoriser la cicatrisation des plaies et de protéger la peau des agressions extérieures (**Perrault, 2017**).

7. Principales applications de la spiruline

7.1. En alimentation humaine

Grâce à son excellent profil nutritionnel, la spiruline présente plusieurs avantages :

- Utilisée par les nutritionnistes et les médecins sous forme de poudre et mélangée avec des céréales et de l'eau pour aider les enfants souffrant de malnutrition sévère (**Fox, 1999**).
- Pour les sportifs, sa consommation facilite l'effort et permet une meilleure récupération ;
- Par sa composition, la spiruline convient très bien aux enfants et adolescents ainsi qu'aux bébés en âge de consommer des protéines. Son apport en éléments essentiels de qualité, ainsi que sa haute assimilabilité, sont idéaux pour les organismes en développement. Trois à cinq grammes par jour suffisent pour éviter les carences et éliminer les toxines liées à la restauration rapide adorée des ados. Elle apporte également un plus sur la qualité de la peau (**Vidal, 2015**).
- Sous la loupe de la diététique, la spiruline est utilisée comme complément protéique bénéfique pour la santé. Agissant comme un produit coupe faim, elle réduit l'appétit et optimise l'apport énergétique (**Tremblin et Moreau, 2017**).
- En agroalimentaire, elle est utilisée comme colorant naturel (la phycocyanine est un des rares pigments naturels de couleur bleue) dans les chewing-gums, sorbets, sucreries, produits laitiers, boissons non alcoolisées. Elle apparaît également dans une gamme de

produits algaux mélangée à du sel, des tagliatelles, etc. En Suisse et au Japon, il existe depuis longtemps du pain à la spiruline (**Boudaoud, 2016**).

7.2. En alimentation animale

Comme pour l'homme, la spiruline renforce aussi les défenses naturelles de l'animal. Elle joue un grand rôle dans le maintien de son système immunitaire, lui permet de lutter contre certaines maladies et agit contre son vieillissement et sa fatigue.

Les chiens, les chats, les poissons et les chevaux sont les animaux pour lesquels la spiruline est couramment utilisée. Chez les chevaux, sa consommation est très courante pendant la phase de croissance, de compétition ou de convalescence.

Notons aussi que les bons éleveurs de poules n'hésitent pas à ajouter de la spiruline à leur alimentation. C'est une pratique de connaisseur qui participe à la ponte d'œuf d'une qualité nettement supérieure (**Casal, 2019**).

7.3. En cosmétique

Les analyses quantitatives et qualitatives des éléments qui composent la spiruline ont été formelles. Autant d'actifs naturels retrouvés (acides aminés, oligoéléments, anti oxydants, minéraux, vitamines, acides nucléiques (composants de l'ADN), protéines, acides gras essentiels, etc.) dont bénéficient ceux qui la consomment dans l'assiette. Certains laboratoires de soins de beauté l'ont incorporé dans des crèmes, des shampoings ou des sérums (**Banks, 2007**).

Grâce à ses propriétés anti-oxydantes qui empêchent la formation de radicaux libres, la spiruline améliore la souplesse et l'élasticité de la peau et donc retarde son vieillissement et apporte brillance et résistance aux ongles et aux cheveux par les nutriments et les oligoéléments qu'elle concentre (**Banks, 2007**).

Considéré comme un aliment « beauté » d'exception, la spiruline est utilisée aujourd'hui dans les soins anti-âges à connotation marine, dans la préparation de produits de soins (masques visage, enveloppements corporels), comme soins réparateurs et fortifiants des cheveux et des ongles, en cataplasme et enveloppement marins, comme soin revitalisant pour le corps ou masque minéralisant du visage (**Casal, 2019**).

7.4. En thérapeutique

L'extraordinaire valeur nutritionnelle de la spiruline conduit à de nombreuses utilisations thérapeutiques qui sont :

- Le traitement des carences nutritionnelles (malnutrition protéino-énergétique, anémie ferriprive et hypovitaminose) ;
- Le renforcement des défenses immunitaires (une opportunité pour lutter contre les maladies opportunistes) ;
- Le traitement de certaines affections dermatologiques ;
- Elle constitue également un partenaire efficace pour calmer les douleurs rhumatismales et l'arthrose ;

Toutes ces applications nutritionnelles et les avantages thérapeutiques de la spiruline ont permis aujourd'hui sa vente et sa consommation comme complément protéique ou aliment « nutraceutique ».

Chapitre 03
Les pâtes alimentaires

1. Définition des pâtes alimentaire

Selon **Alais *et al.*, 2003**, les pâtes alimentaires sont le résultat du séchage de la pâte non fermenté, moins humide que le pain, et sont obtenues à partir de semoule de blé dur.

2. Classification des pâtes alimentaires

Selon **Boudreau et Menard (1992)**, les pâtes se présentent sous plusieurs formes. Mais, selon la machine dont elles sont issues, elles peuvent être divisées en deux catégories distinctes : les pâtes extrudées et les pâtes laminées.

2.1. Pâtes extrudées (pressées ou tréfilées)

Ce sont des pâtes préparées à l'aide d'une presse équipée de moules pour former des pâtes longues, d'environ 25 cm de long à l'état cru, telles que les macaronis et les spaghettis, et des pâtes coupées ou courtes, d'une longueur maximale de 6 à 8 centimètres, telles que les bagues, divers coudes et certaines pâtes à soupe.

2.2. Pâtes laminées

Quant à elles sont préalablement fabriquées par des presses munies d'une filière à fente ou par des malaxeurs spéciaux capables de produire des pâtes sous forme de feuilles. On trouve dans cette catégorie aussi d'autres forme de pâtes telles que les pâtes à potage, des en ruban, à farcir et autres.

3. Qualité des pâtes alimentaires

La qualité des pâtes alimentaires dépend essentiellement de celle des semoules ou farina employées ; la qualité technologique d'une semoule pour la fabrication des pâtes alimentaires est définie par son aptitude à donner des produits finis dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs, ces deux caractéristiques sont influencées par la composition chimique et la granulométrie de la semoule.

Ainsi, l'eau ayant servi au malaxage ; des eaux de faible dureté sont recommandées pour une meilleure couleur de pâte. Mais, la qualité est tributaire également des soins apportés dans la fabrication et, notamment, au séchage et à la conservation ; les bonnes pâtes doivent être bien sèches, la teneur maximale en humidité ne doit pas dépasser 12 ou 13%. Leurs caractéristiques culinaires, hygiéniques et nutritionnelles doivent être considérées (**Boudreau et Menard, 1992**).

3.1. Aspect des pâtes alimentaires

Selon **Boudreau *et al.* (1992)** et **Feillet (2000)**, l'aspect des pâtes comprend :

- Les gerçures : ce sont des fêlures de la pâte sèche. Elles sont dues à un mauvais réglage du séchoir ;
- La piquûre : elles peuvent être blanches, brunes ou noires ;
- La texture superficielle des pâtes : qui dépend de la nature des moules utilisés ;
- Et la couleur des pâtes : elle doit être uniforme.

3.2. Qualité culinaire

Selon **Boukezoula (2003)**, la qualité culinaire des pâtes est évaluée par :

- Les temps de cuisson : qui vari avec le format de la pâte. Pour celles du même format, il varie selon la qualité de la pâte. Le temps de cuisson est déterminé en fonction du gonflement, de la texture et de l'état de la surface ;
- Le gonflement de la pâte pendant la cuisson : qui est calculé par la différence entre le poids des pâtes "avant et après cuisson" ;
- La texture du produit cuit : qui est caractérisée par la fermeté et la masticabilité après cuisson.
- L'état de la surface des pâtes : qui ne doit être ni collante ni pâteuse.
- L'état de cuisson : qui doit être « aldent », c'est-à-dire que les pâtes doivent résister légèrement sous la dent et garder un niveau de fermeté.
- Le goût et l'arôme : des pâtes cuites doivent rappeler ceux de la semoule, c'est-à-dire une saveur agréable mais non acide.

3.3. Qualité hygiénique

Selon **Boudreau et al.(1992)**, la qualité microbienne des pâtes alimentaires ne suscite pas de difficultés. Cependant, la possibilité de contamination ne doit pas être sous-estimée.

3.4. Qualité nutritionnelle

Les pâtes alimentaires jouent un rôle important dans la nutrition humaine et sont faciles à préparer, manipuler, cuisiner et conserver (**Agama et al., 2009**).

Elles sont considérées comme un aliment sain car elles sont faibles en sodium, en lipides, en glucides simples et riches en glucides complexes (**Giese, 1992 ; Pinarli et al., 2004**).

Elles sont pauvres en acides aminés essentiels comme la lysine et la thréonine (**Stephenson, 1983**) et aussi en fibres alimentaires, minéraux, vitamines et composés phénoliques (**Krishna et Rabhasankar, 2010**).

Selon **Fortin, 1999**, les pâtes alimentaires sont de bonnes sources d'énergie et de protéines, et elles sont peu grasses ; une ration (60 à 70g de pâte crue) satisfait près de 10% des besoins journaliers en calories, soit l'équivalent de la consommation de 100g de pain.

L'apport protéique est loin d'être négligeable ; puisque 100 g de pâtes contiennent de 10 à 12 g de protéines et cette valeur passe de 12 à 14 g dans le cas des pâtes aux œufs. Comme pour les autres produits céréaliers, ces protéines sont déficientes en acides aminés indispensables, en lysine notamment.

Compte tenu de ce que la plus grande part de matières minérales et vitamines du grain est concentrée dans les parties périphériques (péricarpe, couche à aleurone) et que celle-ci sont séparées des semoules au cours de la mouture, la teneur des pâtes alimentaires en ces constituants est particulièrement basse.

Les glucides présents sont surtout sous forme de glucides complexes faciles à digérer, leur action s'étend sur une période relativement longue et ils produisent une sensation de satiété. Ces particularités expliquent pourquoi les pâtes alimentaires sont recommandées aux personnes qui ont besoin d'énergie à long terme, comme les sportifs de compétition d'endurance.

4. Consommation de pâtes dans le monde

Les pâtes alimentaires sont un produit de consommation courante dans de plusieurs pays (**Wagner *et al.*, 2015**), et viennent juste après le pain dans la consommation mondiale (**Mariani-Constantini, 1988 ; Torres *et al.*, 2007**).

Selon **Morancho, 2000**, La consommation de pâtes dans le monde est montrée dans le tableau 03 et nous pouvons observer que celle-ci n'est pas répartie de façon égale, En effet alors que certains pays ont une consommation de 28,5 kilos per capita, il y en a d'autres qui arrivent à peine à un kilo de pâtes par habitant sur une année.

En Algérie, la consommation de pâtes augmente avec les fêtes religieuses et familiales. Elles sont principalement consommées pendant l'Aïd, l'Achoura, le mouloud et les mariages.

Tableau 03 : Consommation de pâtes alimentaires dans les différents pays (UNAFPA, 1999).

Pays	Kg/année	pays	Kg/année
Italie	28.5	Bolivie	4.8
Venezuela	12.7	Espagne	4.5
Tunisie	11.7	Hollande	4.4
Suisse	9.6	Belgique	4.3
États-Unis	9.0	Autriche	4.0
Chili	9.0	Yougoslavie	4.0
Grèce	8.5	Brésil	4.0
Pérou	8.0	Finlande	3.2
France	7.3	Uk	2.5
Russie	7.0	Australie	2.5
Argentine	6.8	Mexique	2.3
Portugal	6.5	Libye	2.0
Canada	6.3	Danemark	2.0
Suède	5.5	Japon	1.7
Allemagne	5.4	Egypte	1.2
Turquie	5.2		

DEUXIEME PARTIE
PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 04
Matériels et méthodes

1. Présentation du lieu d'étude (Usine Amor Benamor)

Les analyses physico-chimiques et technologique de cette étude ont été effectuées au niveau du laboratoire de contrôle qualité (Figure 9) des moulins Amor Benamor qui se situe à El Fedjoudj, wilaya de Guelma (Figure 7 et 8).

Les Moulins Amor Benamor (MAB) sont créés en septembre 2000. Ils s'étendent sur une superficie de 42.500 m² et constituent un important complexe industriel avec une capacité de production journalière moyenne estimée à 480 tonnes.

Au niveau national, le Groupe Amor Benamor (GAB) est le premier producteur des semoules, de couscous et des pâtes alimentaires.



Figure 07 : Présentation satellite du site d'étude (les moulins MAB - El Fedjoudj - Guelma).



Figure 08 : Photo extérieure des Moulin Amor Benamor.

La fabrication de la « Trida » est réalisée au niveau de laboratoire pédagogique de l'Université 8 mai 1945, Guelma, en adoptant un procédé traditionnel, et cela pour deux raisons :

La première, vue que la quantité fabriquée est très petite par rapport à la chaîne de fabrication industrielle, et la deuxièmement raison, à cause de l'incorporation de la spiruline dans la pâte alimentaire utilisée dans la fabrication. Ces deux raisons nous ont empêchées à utiliser la chaîne industrielle du groupe Amor Benamor.



Figure 9 : Photo du laboratoire de contrôle qualité des moulins Amor Benamor.

2. Matière première

2.1. Semoule

Dans cette étude, la semoule de la marque Amor Benamor a été utilisée. Elle est commercialisée et emballée dans des sacs en plastiques de 10 Kg (Figure 10). La conservation de la semoule a été faite à une température ambiante dans un endroit sec. L'ensemble des essais de cette étude ont été réalisés avec le même lot de semoule.



Figure 10 : Photo du sac de semoule Amor Benamor de 10 kg.

2.2. Spiruline

La spiruline utilisée, dans ce travail, a été sous forme de poudre (Figure 11). Elle a été conditionnée en sachets de 100 g et procurée auprès d'un laboratoire de contrôle qualité privé (Guelma).



Figure 11 : La poudre de la spiruline.

3. Paramètre de qualité de la matière première (la semoule)

3.1. 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) (Melcion, 2000).

La méthode utilisée dans cette étude est le tamisage (AFNOR NF 03-721), qui est la méthode la plus fréquente, la plus simple et la moins coûteuse. Cette méthode est réalisée à l'aide d'un tamiseur ROTACHOC (CHOPIN Technologies, Villeneuve la Garenne-France). Cet appareil est constitué d'une série de tamis en inox empilés les uns sur les autres (Figure 12), et qui est placée sur une plateforme directement reliée à l'axe du moteur. Cette plateforme donne alors un mouvement excentrique à l'ensemble des tamis, provoquant ainsi le passage du produit à travers les mailles des différents tamis (600 μm , 500 μm , 450 μm , 355 μm , 250 μm , 200 μm , 150 μm)

Une homogénéisation de l'échantillon à tamiser est une étape préalable et indispensable dans le but d'obtenir un échantillon représentatif, car un classement densimétrique peut se produire à l'intérieur de l'échantillon de semoule, ce classement se manifeste par une sédimentation des fines particules dans le fond du sac et il est susceptible d'influencer les résultats du tamisage.

Un échantillon de 100g a été placé dans le tamis du haut de l'appareil pendant 10 minutes avec une vitesse de rotation de 180 trs/min. Après la stabilisation du tamiseur, le refus de chaque tamis a été pesé et converti en pourcentage par rapport à l'échantillon (100g) pour classer les particules de la semoule utilisée en différentes granulométrie.



Figure 12 : Photo de tamiseur ROTACHOC.

3.2. Humidité

L'humidité d'une matière englobe toutes les substances qui s'évaporent par chauffage en entraînant une perte de poids de l'échantillon. La perte de poids est mesurée par une balance et interprétée comme taux d'humidité (**Anonyme, 2002**). Ce taux est très important puisqu'il conditionne la précision des divers résultats analytiques rapportés à la matière sèche, et détermine les conditions de stockage des produits et joue un rôle très important dans leur conservation.

Les méthodes thermogravimétriques sont des méthodes de pesage -séchage, où les échantillons sont séchés jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids stable (AFNOR NFV 03-707). La perte de masse est interprétée comme humidité libérée. Le séchage se termine lorsque le poids atteint un équilibre, c'est à-dire lorsque la pression de vapeur de la substance humide équivaut à la pression de vapeur ambiante (**Anonyme, 2002**).

La mesure d'humidité a été faite par le séchage d'une quantité de 3g du produit dispersée dans le porte échantillon d'un dessiccateur halogène (HG63, Mettler Toledo, Suisse) réglé à une température de 130°C (Figure 13). Le résultat est affiché directement sur l'écran de l'appareil après 25 minutes.



Figure 13 : Photo de dessiccateur halogène (HG63).

3.3. Couleur

La mesure de la coloration de la semoule est d'un intérêt surtout commercial, le consommateur cherche généralement des pâtes claires de belle couleur jaune ambrée qui ne présente pas des piqures. Elle est considérablement influencée par les blés mis en œuvre (teneur en pigment caroténoïdes et en lipoxygénase) et les conditions de mouture (Salmi et al., 2015).

Le principe de la mesure de coloration repose sur l'analyse de l'énergie lumineuse réfléchiée par un échantillon de semoule (où pâte alimentaire) de granulométrie homogène. Il se caractérise par 03 composants : l'indice de jaune, l'indice de brun et l'indice de clarté, qui sont déterminés à l'aide d'un colorimètre de type Konica Minolta, modèle CR-410 (KONICA MINOLTA, Japon).

Une quantité de semoule a été posée dans une baguette en plastique jusqu'au remplissage (Figure 14) ; en utilisant une plaque en verre pour rendre la surface de semoule régulière ; puis placer le tube de projection sur la baguette en plastique et le chroma-mètre sur le tube ; enfin, appuyer sur la touche « mesurer ». Le résultat est affiché directement sur l'écran de l'appareil.

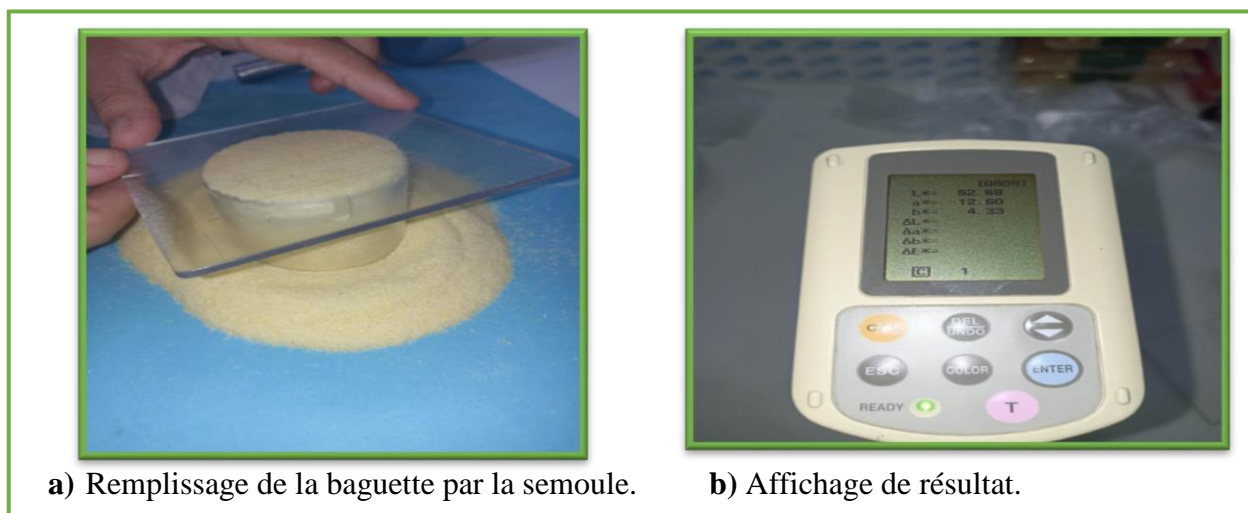


Figure 14 : Mesure de la couleur de matière première (semoule).

3.4. Cendres

Les cendres totales représentent la partie minérale d'un produit qui permet d'avoir une idée sur son apport en sels minéraux. Les cendres totales ont été obtenues par incinération de 2 g d'échantillon dans un four à moufle (Figure 15) à 525°C pendant 5 heures (AOAC 1998).

Le taux des cendres totales est exprimé en pourcentage par rapport à la matière sèche, est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Cendres \%} = (P2 - P1 / P0) \times 100$$

Dont :

- **P0** : poids de l'échantillon (g) ;
- **P1** : poids du creuset vide (g)
- **P2** : Poids de creusets + échantillon après incinération (g).



Figure 15 : Photo de four à moufle d'incinération.

4. Fabrication de la pâte alimentaire « Trida » à base de spiruline

La « Trida » est une pâte alimentaire traditionnelle Algérienne (Figure 16). Les principales étapes de fabrication ont été réalisées selon le diagramme de fabrication suivant :

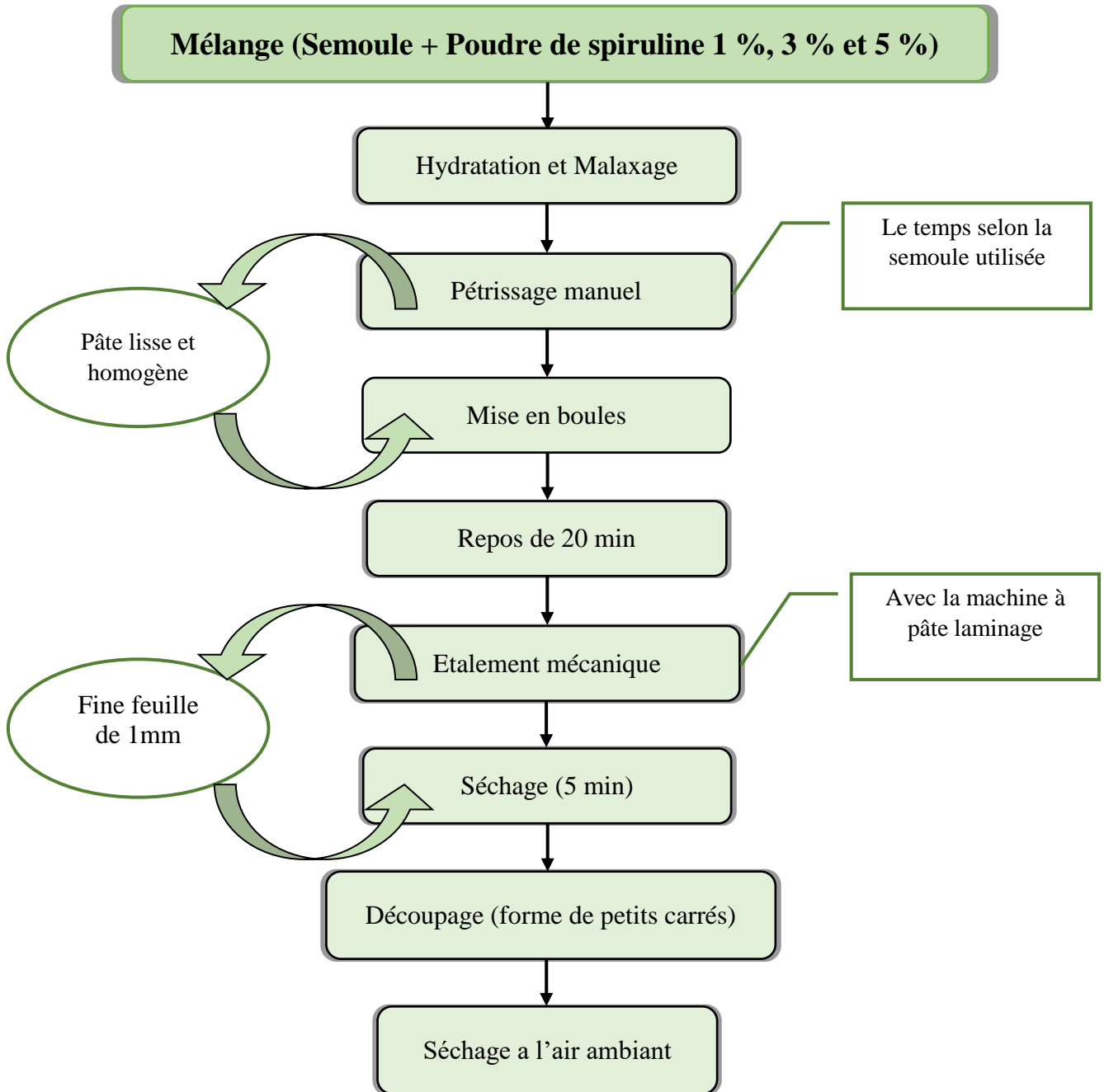


Figure 16 : Diagramme de fabrication de « Trida ».

4.1. Hydratation et malaxage

Cette étape consiste à déposer 100g de semoule de blé et des différents doses de spiruline (1 % ; 3 % et 5%) dans un récipient. Ensuite, l'eau a été ajoutée progressivement avec malaxage et l'homogénéisation par les mains jusqu'à obtenir une pâte molle (Figure 17).



Figure 17 : Hydratation et malaxage de la semoule et de la spiruline.

4.2. Pétrissage de la pâte

Après malaxage et hydratation de semoule et de la spiruline, une pâte a été obtenu en appliquant le pétrissage par les mains (Figure 18) ; « le temps de pétrissage varie selon le type de semoule utilisée » ; la pâte obtenue a été mise au repos pendant 20 minutes.



Figure 18 : Pétrissage manuel de la pâte.

4.3. Mise en forme

La pâte obtenue après pétrissage a été découpée en petites boulettes pour faciliter le processus d'étalement manuel à l'aide de rouleau à pâtisserie (Figure 19). Puis, à l'aide de machine (étalement mécanique), un laminage grossier (ouverture numéro 2) a été réalisé sur chaque feuille de pâte pour obtenir des feuilles fines à l'épaisseur 1 mm. Les feuilles laminées ont été ensuite découpées en carrés à l'aide d'un couteau.

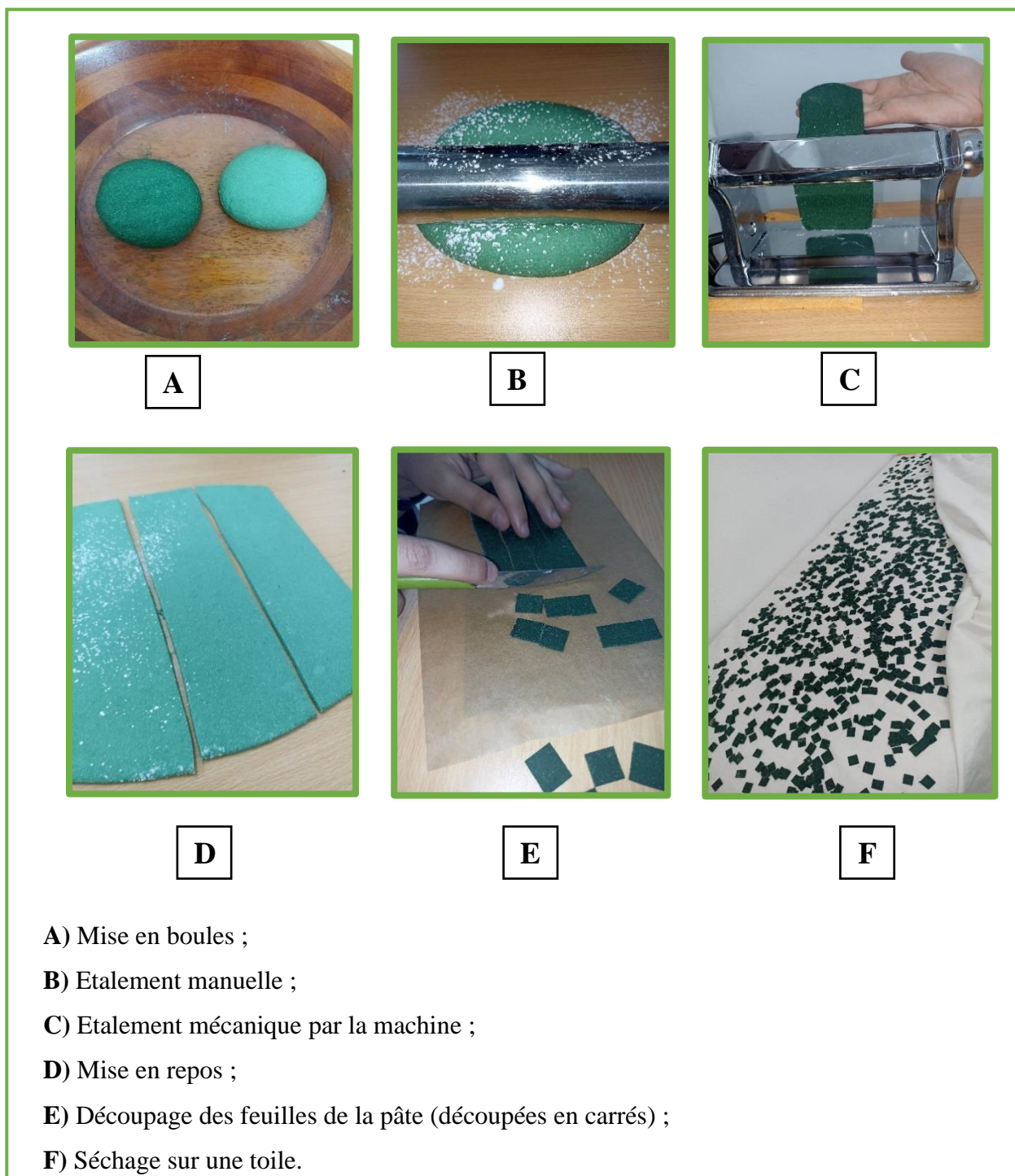


Figure 19 : Etapes de fabrication de la pâte « Trida ».

4.4. Séchage

La pâte obtenue « Trida » a été séchée sur une toile à l'air libre. Les échantillons sont ensuite stockés dans des boîtes en plastique (Figure 20) à l'abri de l'humidité et à température ambiante.



Figure 20 : Stockage de « Trida » dans des boîtes en plastique.

5. Appréciation de la qualité du produit fini « Trida »

5.1. Couleur de la pâte

La couleur de la pâte après séchage est un paramètre très important pour le consommateur et aussi pour l'entreprise pour la commercialisation du produit fini.

La détermination de la couleur de la pâte alimentaire a été faite de la même méthode utilisée pour la matière première. Pour ce faire, un broyage a été réalisé pour réduire la taille de la pâte alimentaire séchée en particules homogènes afin de remplir la baguette en plastique du colorimètre CR-410.

5.2. Dimension du produit fini

Ce paramètre permet de détecter les malformations et les irrégularités dans la fabrication de la pâte alimentaire. Un pied à coulisse a été utilisé pour mesurer l'épaisseur et la largeur de la Trida (Figure 21).

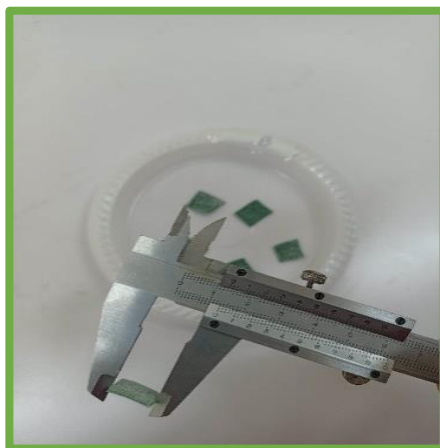


Figure 21 : Détermination des dimensions de la pâte sèche.

5.3. Humidité de produit fini « Trida »

Après le séchage des pâtes alimentaires de chaque essai, il faut mesurer l'humidité de chacun.

Le principe de mesure d'humidité des pâtes alimentaires est aussi le même que celui utilisé pour la mesure d'humidité de la semoule. Mais, après le séchage de la pâte, un broyage a été fait d'une petite quantité (presque égal à 3g) à l'aide d'un broyeur, et la quantité broyée a été utilisée dans le dessiccateur halogène.

5.4. Cendres de la pâte alimentaire « Trida »

Le même protocole de mesure des cendres de la semoule a été utilisé pour la pâte alimentaire Trida.

6. Qualité culinaire du produit fini « Trida »

6.1. Temps optimal de cuisson

Le temps optimal de cuisson correspond au temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée.

Pour ce faire, la Trida a été cuite à la vapeur d'eau (Figure 22) pour des périodes de 30 min, 40 et 50 min à des intervalles de temps réguliers (soit toute 1 minute). L'aspect de la pâte a été adopté afin de déterminer le temps optimal de cuisson.



Figure 22 : Test de cuisson de la pâte Trida.

6.2. Consistance de la pâte

Ce paramètre de qualité de cuisson de la pâte est évalué en observant le degré de collant de la pâte alimentaire cuite en pressant modérément une petite quantité de pâte cuite entre les doigts de la main. Plus le collant est faible, plus la pâte est meilleure.

6.3. Indice de gonflement (Poids à la cuisson)

Le gonflement renseigne sur la capacité d'absorption d'eau par les pâtes cuites. L'indice de gonflement (IG) a été déterminé par la pesée des pâtes égouttées et calculé selon l'équation suivant :

$$\text{IG (\%)} = \frac{P2 - P1}{P1} \times 100$$

Dont :

P2 : Poids des pâtes cuites (TOC +1min)

P1 : Poids des pâtes sèches

7. Evaluation sensorielle de « Trida »

L'évaluation sensorielle de « Trida » a été faite visuellement et par dégustation des pâtes sèches et cuites. Un test de notation est réalisé dans notre université, le panel est constitué de dégustateurs composé de 33 sujets de sexe féminin et masculin et d'âge différent.

Il est recommandé aux dégustateurs d'éviter l'utilisation de produits dont l'odeur est prononcée comme par exemple le savon, la lotion et le parfum avant de commencer le test.

Les sujets doivent éviter également de manger, de boire ou de fumer au moins 30 minutes avant l'entame du test.



Figure 23 : la salle de l'analyse sensorielle.

7.1 Déroulement de l'analyse

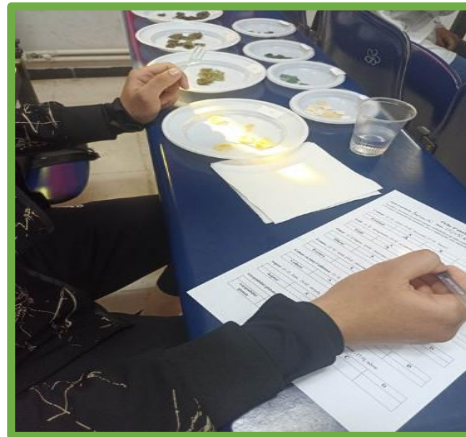
La pâte fabriquée « Trida » est cuite à la vapeur. Les échantillons ont été présentés dans des assiettes (Figure 24) codées par A, A', B, B', C, C', D, D', selon le tableau 4. Une note sur une échelle de 1 à 9 est attribuée pour chaque caractère. Le 1 représente une intensité faible et le 9 une intensité élevée.

Les caractères de jugement des pâtes sèches portent essentiellement sur une appréciation sensorielle de l'odeur, l'aspect, la couleur et la texture.

Pour les pâtes cuites, les paramètres d'analyse portent également sur l'odeur, la couleur, le goût, le collant, l'acceptabilité globale et la texture de la pâte.

Tableau 04 : Codage des assiettes.

Echantillon	Codage
A	Le témoin de la pâte sèche
A'	Le témoin de la pâte cuite
B	« Trida » enrichie à 1% sèche
B'	« Trida » enrichie à 1% cuite
C	« Trida » enrichie à 3% sèche
C'	« Trida » enrichie à 3% cuite
D	« Trida » enrichie à 5% sèche
D'	« Trida » enrichie à 5% cuite

**Figure 24** : Photo de déroulement des analyses sensorielles.

Chapitre 05
Résultats et discussion

1. Résultat des paramètres de qualité de la matière première

1.1. Granulométrie

La granulométrie de la semoule affecte les propriétés d'absorption des pâtes et par conséquent la qualité du produit fini.

La granulométrie de semoule utilisée dans cette étude sont comprise en général entre 600 μm et 150 μm avec l'utilisation des tamis suivants : 600 μm , 500 μm , 450 μm , 355 μm , 250 μm , 200 μm et 150 μm respectivement. Le refus de chaque tamis est exprimé en pourcentage dans le tableau 1 (Voir annexe 3). La figure suivante représente le résultat de la granulométrie des particules de la semoule utilisée pour la fabrication des pâtes enrichies par la spiruline. Elle est exprimée en pourcentage des particules en fonction de la taille des mailles des tamis utilisés.

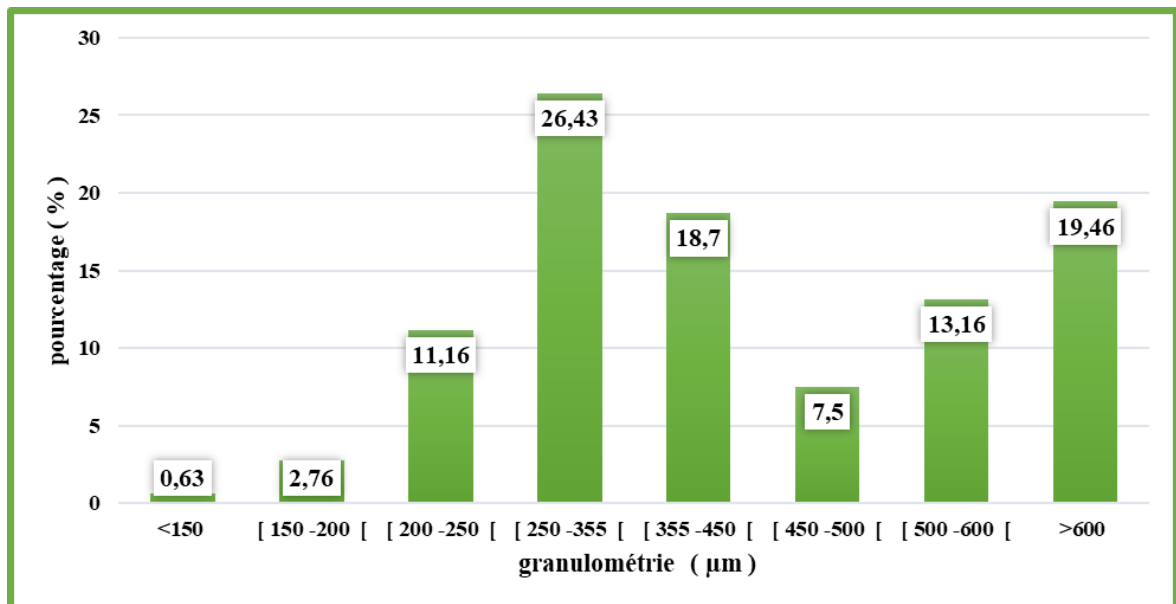


Figure 25 : Granulométrie de la semoule.

Selon les résultats, la semoule utilisée est constituée des particules de différente granulométrie qui est dominée par l'intervalle [250 μm -355 μm [avec un pourcentage de 26.43 %. Cependant, dans notre échantillon il existe des grosses particules qui sont supérieures à 600 μm (19.46 %). La majorité des particules de la semoule (77.29 %) possède une granulométrie comprise entre 200 μm -600 μm .

D'après la FAO (1995), les semoules de blé dur utilisées dans la fabrication des pâtes alimentaires sont en général d'une granulométrie supérieure ou égale à 212 μm . Par

ailleurs, dans les normes algériennes, la granulométrie des semoules destinées à la fabrication de ce produit est comprise entre 190 μm – 550 μm . Selon **Petitot et al. (2009)**, la semoule adaptée à la confection des pâtes alimentaire est celle dans laquelle la granulométrie est située entre 355 μm et 200 μm .

Alors, la comparaison avec les normes et les résultats des auteurs ci-dessus montre que nos résultats sont conformes aux normes de la FAO et de la république algérienne et similaire à ceux des auteurs.

D'après **Feillet (2000)**, le comportement des matières premières au cours de leur transformation, notamment la quantité d'eau absorbée ainsi que la vitesse d'hydratation, dépend de la granulométrie de la semoule. Elle joue aussi un rôle important dans le comportement de la pâte lors de son hydratation, ce qui influence l'aspect et la fermeté du produit fini (**Petitot et al., 2009**).

Ainsi, la présence du son dans la semoule a une influence sur l'aspect et la texture superficielle des pâtes alimentaires (produit fini) c'est-à-dire : au cours d'hydratation, le son n'est pas soluble, donc il modifie la couleur de la pâte au cours de la fabrication et après le séchage. Il favorise aussi l'apparition des piqures brunes et la texture rugueuse dans le produit fini (**Petitot et al., 2009**).

1.2. Humidité

La semoule utilisée pour la fabrication des pâtes alimentaires présente une teneur en humidité de 12.99 %. Cette dernière est inférieure à la norme maximale indiquée par le (**CODEX ALIMENTARIUS, 2007**) et à la réglementation nationale (**JORA, 2007**) ($\leq 14,5\%$), ce qui permet un bon stockage du produit élaboré.

La détermination de la teneur en eau est importante, puisqu'elle conditionne la précision des divers résultats analytiques rapportés à la matière sèche (**Calvel, 1984**).

En effet, selon **Kiger et Kiger (1967)** ; l'humidité est très variable, elle dépend à la fois du climat, de la température et de la quantité d'eau ajoutée au blé avant la mouture.

1.3. Couleur

L'évaluation de la couleur est un facteur déterminant de la qualité organoleptique des semoules, c'est pourquoi elle est d'une importance primordiale en industrie alimentaire. La composante jaune est recherchée, alors que la composante brune est indésirable. De ce fait,

les échantillons qui ont un indice de jaune élevé sont les mieux appréciées par le consommateur.

La figure 26 représente le résultat de la colorimétrie de semoule par les trois indices indice de clarté L*, indice de brun a*, indice de jaune b*. Nous observons que l'indice de clarté et l'indice de jaune sont les plus élevées (83,05 - 36,36), par contre l'indice de brun est plus faible (-2,11) par rapport aux autres indices.

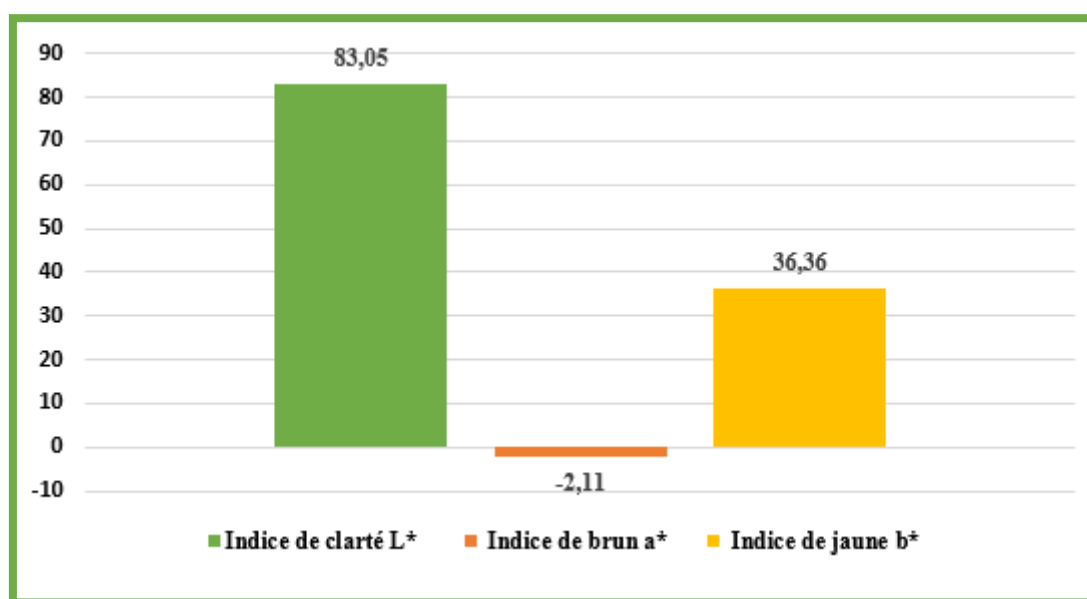


Figure 26 : Couleur de la semoule.

D'après l'échelle de classement donné par **Houliaropoulos et al., 1981** pour les semoules :

Indice de jaune élevé >35, moyen : 28-35 et faible <28.

Indice de brun : élevé >21, moyen : 18-21 et faible <18.

Nous remarquons que la moyenne de l'indice de jaune de la semoule est élevée (36.36) par rapport l'échelle de classement donné par **Houliaropoulos et al. 1981** (>35). Ceci peut être dû à la teneur élevée en pigments caroténoïdes, associée à de faibles activités lipoxygénasiques qui est recherchée dans les blés pour fabriquer des pâtes claires possédant une belle couleur ambrée (**Feillet, 1986 ; Demarchi, 1994**).

En ce qui concerne l'indice de brun, nous constatons que la moyenne de l'indice de brun est très faible (-2,11) par rapport à l'échelle de classement donnée par **Houliaropoulos et al., 1981**, ce qui est favorable pour la couleur finale des semoules.

1.4. Cendres

La pureté de la semoule se juge d'après sa teneur en résidus minéraux. Les matières minérales de la semoule sont le potassium, le phosphore, le magnésium et le soufre et après incinération, les résidus se retrouvent sous la forme de cendres. Le taux de cendres varie dans le grain selon la variété de blé, la région de culture, les méthodes culturelles et l'année de récolte (Abecassis, 1993).

Le tableau suivant représente le taux de cendres de la semoule en pourcentage. Nous constatons que la moyenne de taux de cendre des échantillons est de 0.86 %.

Tableau 05 : Teneur en cendres de la semoule (matière première).

Taux de cendre (%)	Norme algérienne (JORA, 1997)	Bar (1995)
0,86± 0,01	≤ 0,90 %	< 1.1 %

En effet, la teneur en cendres de semoule utilisée dans la fabrication de pâte alimentaire Trida est conforme aux normes algériennes et aux résultats des auteurs (Bar, 1995).

Le degré de purification des semoules, apprécié par la teneur en matières minérales (TMM), exerce un effet prononcé sur le brunissement des pâtes alimentaires ; plus la semoule est contaminée par les parties périphériques du grain, plus les pâtes correspondantes sont brunes (Feillet et al., 2000).

2. Résultats des paramètres de qualité de produit fini

2.1. Aspect visuelle du produit fini «Trida»

L'aspect des pâtes alimentaires est déterminé par trois paramètres : la couleur, le nombre et l'origine des piqûres et état de surface des pâtes sèches. Les piqûres brunes sont dues à la présence de particules de sons, mais les piqûres noires proviennent des grains mouchetés. Les points blancs et état de surface des pâtes sèches dépendent des conditions de fabrication (Feillet, 2000).

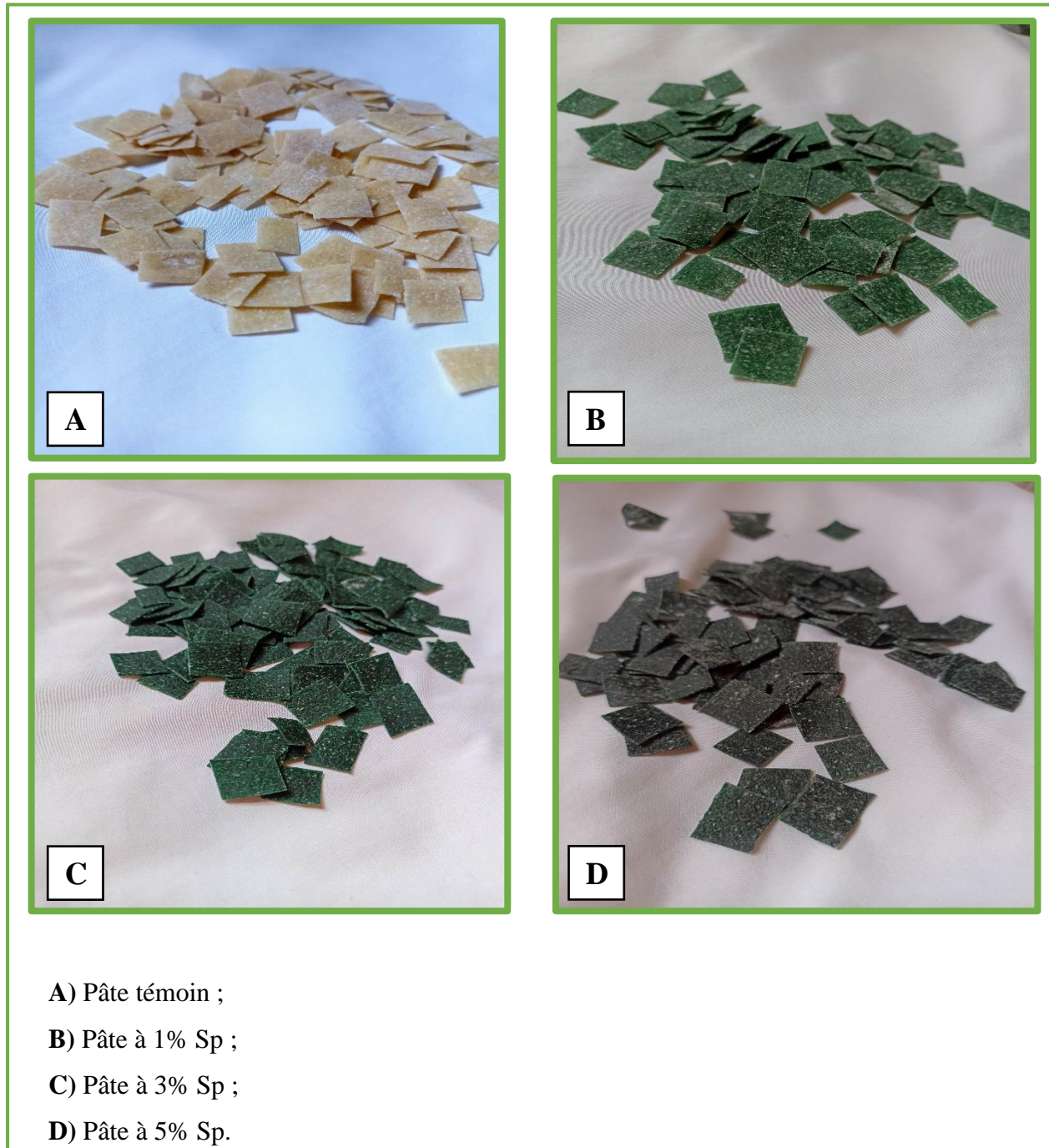


Figure 27 : Pâtes alimentaires sèche enrichies par la poudre de la spiruline.

Le types de piqûres et la texture du produit fini « Trida » observés durant notre travail sont résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau 06 : Résultat de l'aspect visuel du produit fini « Trida » de chaque essai après le séchage.

Echantillon	Type de piqûres	Texture superficielle	Couleur visuelle	Dimensions	
				Epaisseur (mm)	Largeur (mm)
Témoin	Blanche	Rugueux	Jaune	1mm	1.3mm
dose de 1% de sp	Blanche	Rugueux	Vert clair		
dose de 3% de sp	Blanche	Rugueux	Vert peu sombre		
dose de 5% de sp	Blanche	Rugueux	Vert sombre		

L'analyse des résultats de tableau 06 montre que les pâtes fabriquées ne contiennent pas des piqûres brunes ou noires due à la présence du son ou des grains mouchetés dans la semoule utilisée. Cependant, nous constatons la présence des points blancs sur la surface de tous les échantillons témoin et enrichies à la spiruline, qui peuvent être dus à l'utilisation de la farine de maïs pour le séchage de pâte et d'éviter le collant de ses particules.

2.2. Couleur

La couleur se caractérise par des composantes : l'indice de jaune et l'indice de brun, dans tous les cas, plus l'indice de jaune est élevé et l'indice de brun est faible, le résultat est meilleur (I.T.C.F, 2001).

La figure 28 représente le résultat de la colorimétrie de pâte alimentaires « Trida » témoin et la pâte enrichie de différentes doses de spiruline (1 %, 3 % et 5%) par les trois indices ; indice de clarté L*, indice de brun a*, indice de jaune b*.

Dans la pâte témoin, nous observons que l'indice de clarté est plus élevée (82,19) par rapport les autres indices de brun et de jaune (-0,31 - 19,93). Cependant, les pâtes enrichies par les différentes doses de spiruline (1 %, 3 % et 5%) présentent des indices de brun (a*) négatifs avec des faibles indices de clarté (L*).

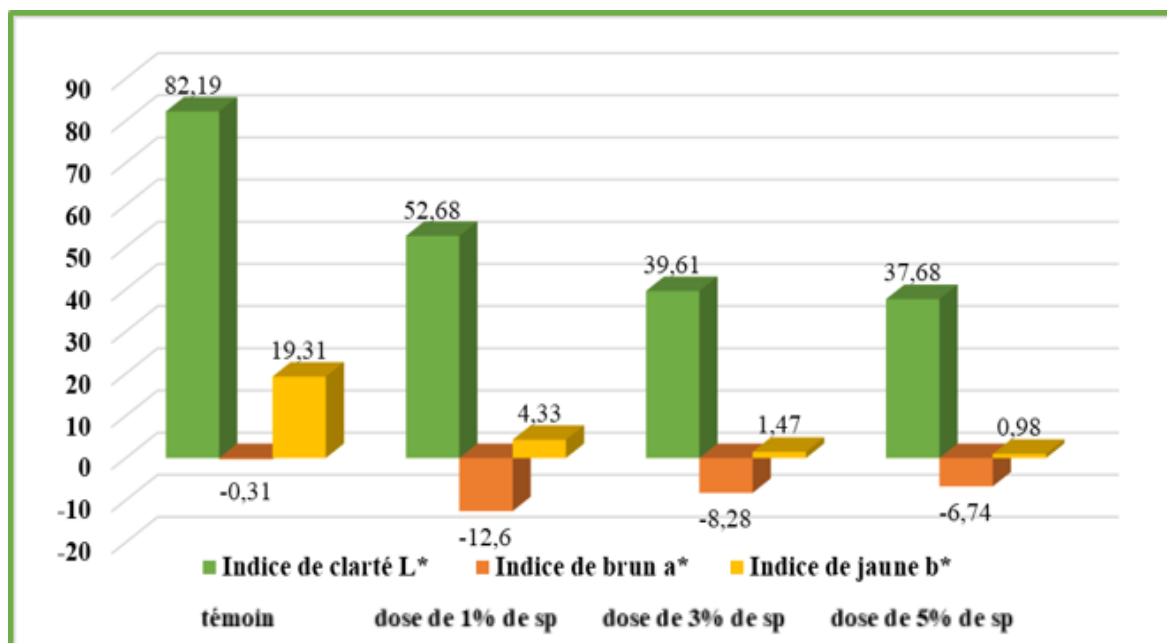


Figure 28 : Couleur de la pâte « Trida ».

L'échelle des indices de couleur CIE de la pâte alimentaire est dans les normes suivantes :

- Clarté : L=55-60.
- Indice de brun : $a^* = 5-7$.
- Indice de jaune : $b = 30-40$.

Nous remarquons que, les résultats de la colorimétrie de la pâte témoins sont non identiques par rapport à l'échelle des indices de couleur CIE. Cette différence pourrait être due à plusieurs facteurs : la qualité de semoule, le stockage de semoule, la fabrication et le séchage de la pâte.

D'autre part, la diminution des indices de colorimétrie chez les pâtes enrichies par la spiruline peut être due à la richesse de la spiruline en pigments chlorophylle, caroténoïdes et même en phycocyanines se traduisant par un changement de la couleur (couleur jaune ambre vers une couleur vert) (Doumandji et al., 2012).

2.3. Humidité

La figure 29 représente le résultat de la teneur en eau en pourcentage des pâtes alimentaires témoin et enrichies par les différentes doses de la spiruline (1 %, 3% et 5%).

Nous observons que le taux d'humidité chez la pâte témoin est 12.3 %. Toutefois, la teneur en eau des pâtes enrichies en spiruline augment en fonction de la dose de spiruline ajoutée 1%, 3% et 5%, elle est de 13,03 % , 13,26 % et 13,32 % respectivement.

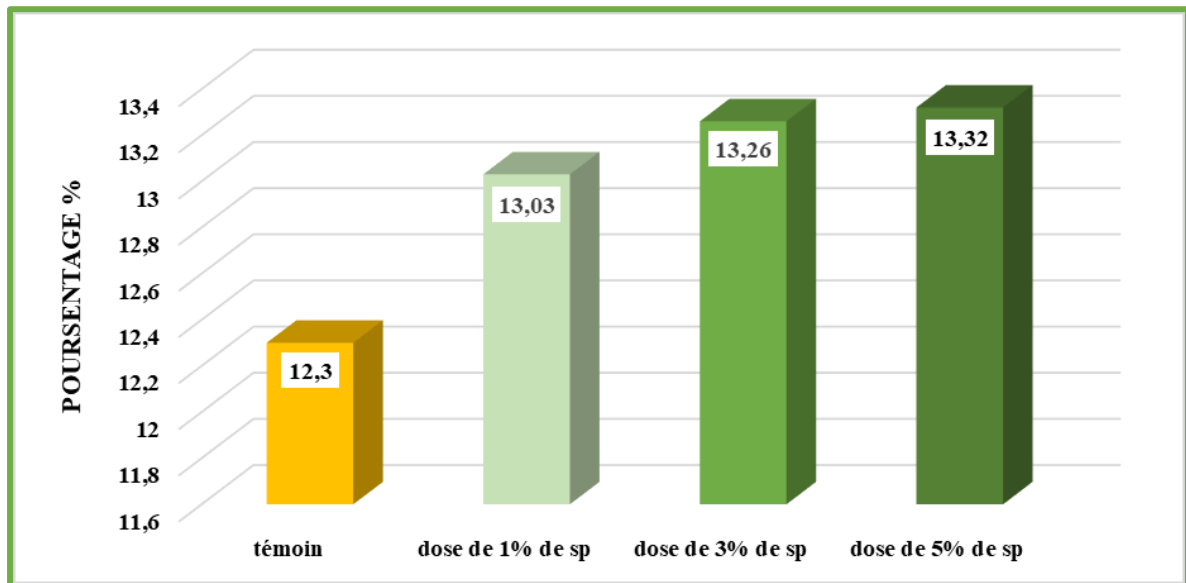


Figure 29 : Teneur en eau de la pâte « Trida ».

D'après **Kent et Evers (1994)**, les teneurs en eau des pâtes alimentaires sèches ne doivent pas excéder les 12,5%, humidité au-dessous de laquelle elles peuvent être conservées sans risque d'altération par les moisissures ou les microorganismes.

L'humidité de la pâte témoins est inférieure à 12,5% (12,3%), cette valeur est conforme aux normes algériennes ; ce qui permet une bonne conservation de la pâte non enrichie. Cependant, les teneurs en eau des autres pâtes enrichies par la spiruline sont supérieures à 12,5%, ce qui signifie la présence de risque d'altération par les microorganismes au cours de la conservation à long terme. Alors, pour éviter ce risque, il nécessaire d'augmenter la durée de séchage des pâtes enrichies en spiruline jusqu'à la diminution du taux d'humidité au-dessous de 12,5%.

2.4. Cendres

Les résultats du taux de cendre du produit fini « Trida » sont démontrés dans la figure 30. La valeur enregistrée dans la pâte témoin est 1.87%. Par contre, les pâtes enrichies à la spiruline présentent des taux de cendres plus élevés à celui de la pâte témoin. Ainsi, ils augmentent en fonction de la dose de spiruline ajoutée pour atteindre un taux de 2.47 % dans l'échantillon enrichi de 5% de spiruline.

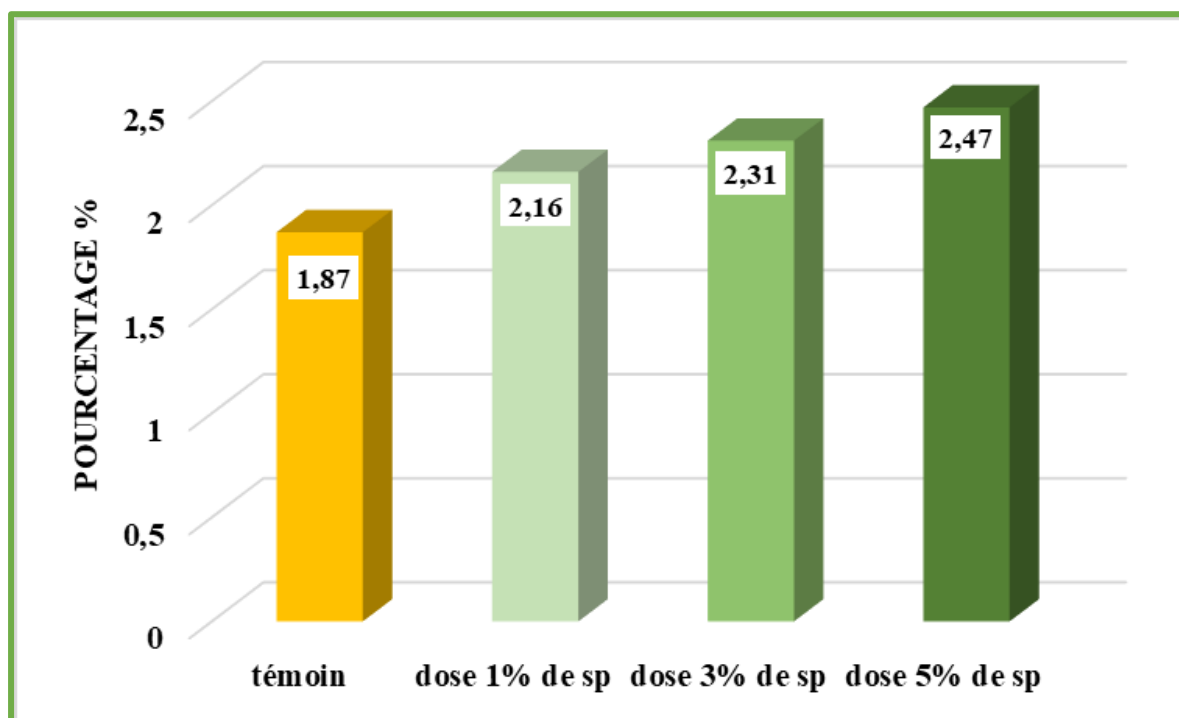


Figure 30 : Taux de cendre de la pâte.

3. Qualité culinaire de produit fini «Trida »

La figure 31 montre l'aspect des pâtes alimentaires cuites. Tous ces échantillons montrent un aspect acceptable et une surface lisse par rapport à la pâte témoin (non enrichie).



Figure 31 : Pâtes alimentaires cuites enrichies par la poudre de spiruline.

3.1. Temps optimal de cuisson

D'après le tableau 07, le temps optimal de cuisson (TOC) de la pâte « Trida » augmente nettement en fonction de la dose de la spiruline ajoutée.

Tableau 07 : Temps optimal de cuisson de la pâte.

Echantillon	Témoin	1% SP	3% SP	5% SP
TOC	38min	50min	1h 7min	1h 20min

Cette différence du temps de cuisson peut être due aux protéines de la spiruline ajoutée qui augmente la résistance à la cuisson. Selon **Clarke *et al.* (1998)** et **Edwards *et al.* (2001)** et **Bechere *et al.* (2002)**, la haute teneur en protéines ou plutôt la forte teneur en toutes substances azotées, influencent la résistance des pâtes trop cuites.

3.2. Dimensions et la consistance de la pâte cuite

Le tableau 08 présente l'épaisseur et la largeur et même la consistance des échantillons des pâtes. Nous remarquons que tous les échantillons sont résistants, fermes et légèrement collants qui signifie que la qualité des pâtes fabriquées est acceptable.

Tableau 08 : Résultat des tests de cuisson du produit fini « Trida ».

Echantillon	Consistances	Dimensions	
		Epaisseur (mm)	Largeur (mm)
Témoin	Ferme Résistante Légèrement collante	1mm	1,7 mm
dose de 1% de sp	Ferme Résistante Légèrement collante		1.7 mm
dose de 3% de sp	Ferme Résistante Légèrement collante		2 mm
dose de 5% de sp	Ferme Résistante Légèrement collante		2mm

3.3. Indice de gonflement (Poids à la cuisson)

Les résultats d'indice de gonflement (gain du poids) des pâtes enrichies sont illustrés dans la figure 32. Nous notons que l'indice de gonflement (IG) est faible dans l'échantillon préparé à base de la semoule 100% (témoin) par rapport aux autres échantillons. Puis, il augmente nettement en fonction de la dose de la poudre de spiruline ajoutée (1%, 3%, 5%). Il atteint 1.99 à la dose de 5% de spiruline. C'est un facteur important sur le plan de rendement en produit cuit. La différence enregistrée entre la pâte témoin et les pâtes enrichies peut être due aux protéines et carbohydrates de la spiruline ajoutée.

Donc, le gonflement nous renseigne sur la capacité d'absorption d'eau des pâtes cuites. Il est déterminé par la différence de poids de la pâte avant et après la cuisson (Singh *et al.*, 2004).

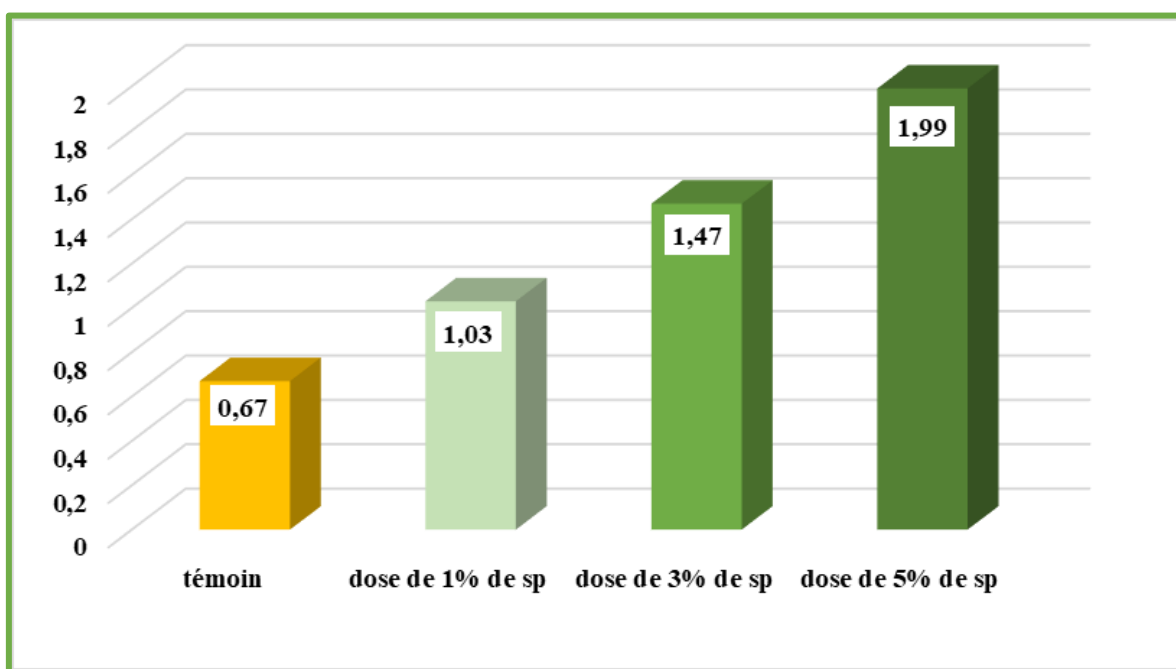


Figure 32 : Indice de gonflement des pâtes enrichies.

4. Analyses sensorielles

Les résultats de l'évaluation sensorielle de produit élaboré « Trida » sec témoin et enrichi par les différentes doses de spiruline, sont présentés dans la figure ci-dessous :

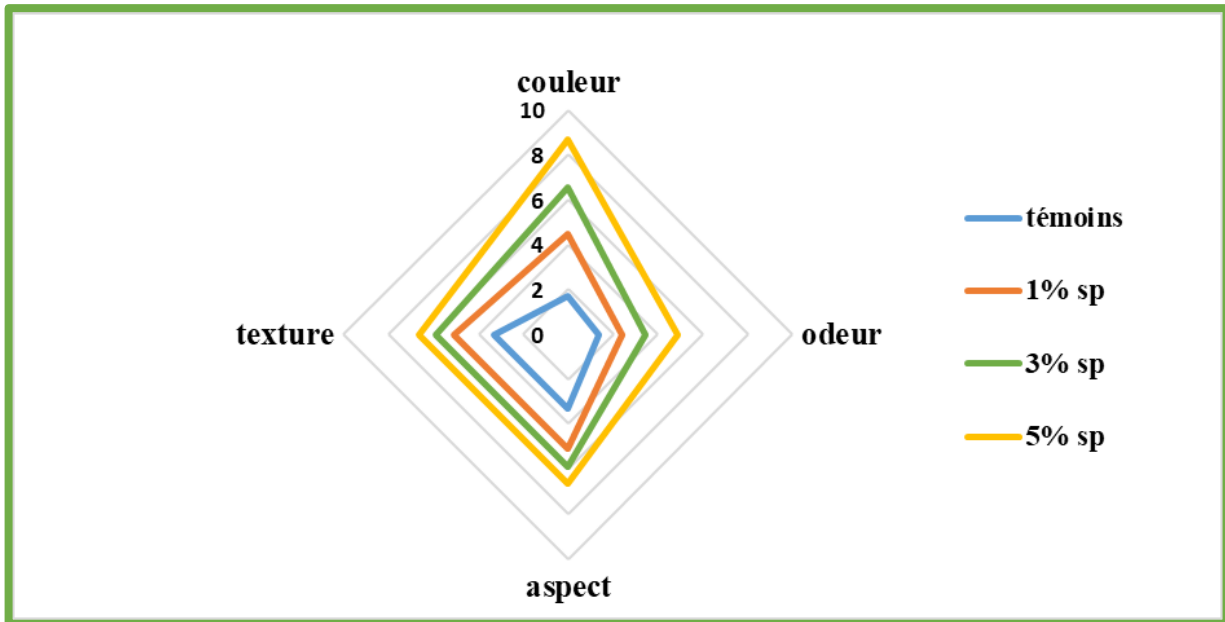


Figure 33 : Profil sensoriel des pâtes sèche étudiée pâte témoin, à base de spiruline (1%, 3%, 5%).

L'analyse sensorielle de « Trida » sèche témoins et les échantillons enrichis à 1%, 3% et 5% par la poudre de la spiruline est réalisé en évaluant les quatre caractères de la qualité organoleptique de produit fini (la couleur, l'odeur, la texture et l'aspect).

D'après le profil réalisé en fonction de la moyenne des avis des dégustateurs, nous remarquons que :

Couleur :

La couleur de la dose 5% est légèrement plus satisfaisante (8,67) que la couleur de témoins et les autres doses.

Le résultat obtenu peut être expliqué par le taux d'enrichissement (plus le taux d'enrichissement est important plus la couleur est intense).

Aspect :

En se référant à la moyenne des avis de l'ensemble des dégustateurs, l'aspect de la dose 5% est la plus rugueux (6,67), et la pâte témoins est la plus lisse (3,33).

Texture :

La texture de la pâte témoins est la plus molle (3,33), par contre la texture des pâtes à base de spiruline 1%, 3% et 5% est moyennement mole (5,09, 5,91, 6,67).

L'odeur :

Concernant l'odeur en remarquant que plus la dose de la spiruline élevée, plus l'odeur est forte.

Pour les pâtes cuites :

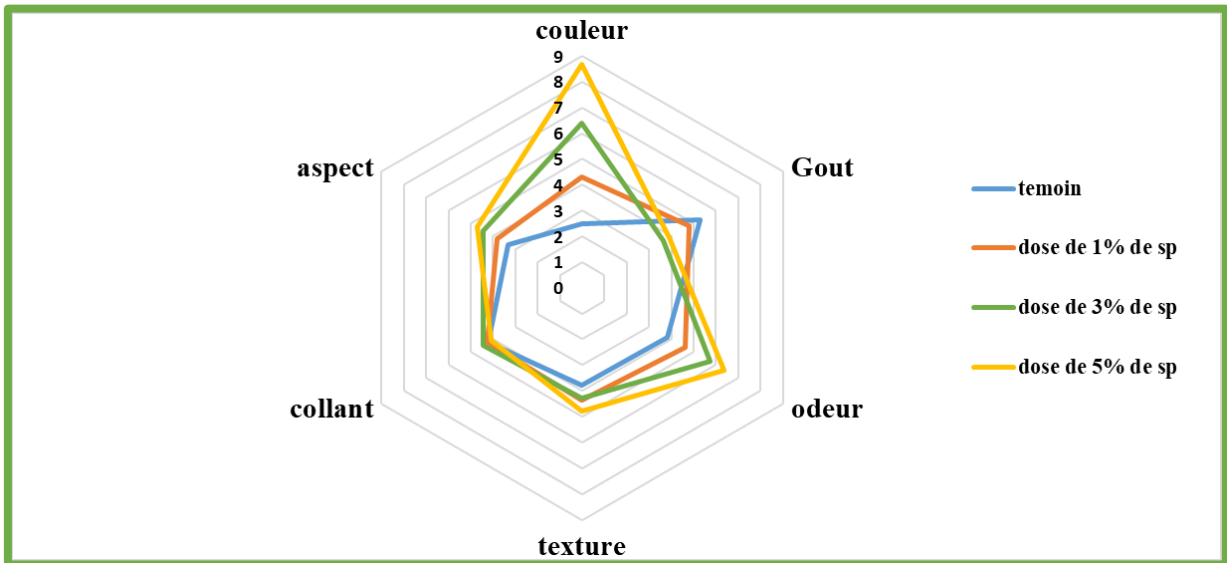


Figure 34 : Profil sensoriel des pâtes cuites étudiées (pâte témoin, à base de spiruline (1%, 3%, 5%).

La figure 34 représente les résultats d'analyse sensorielle des pâtes cuites en respectant les six (06) caractères organoleptiques (couleur, odeur, goût, l'aspect, la texture et le collant).

Nous observons qu'au niveau de la **couleur**, la dose de 5% a une couleur légèrement plus intense (8,67).

Nous remarquons que, plus le pourcentage de la poudre de spiruline est élevé plus la couleur est foncée.

Pour le **gout**, nous notons que la pâte témoin a un goût légèrement agréable de (5,3) par rapport aux autres échantillons.

Concernant la **texture**, la pâte témoin est plus moelleuse en comparant aux autres doses de spiruline 1%, 3%, 5% (4,36, 4,27, 4,79 respectivement).

Pour l'**odeur**, la dose 5% présente une odeur plus forte que les autres avec 6,36 de différence.

La pâte témoin a un **aspect** plus lisse 3,34 par rapport aux autres doses.

Concernant le **collant**, nous constatons que les valeurs sont presque proches à 4 (moyennement collant).

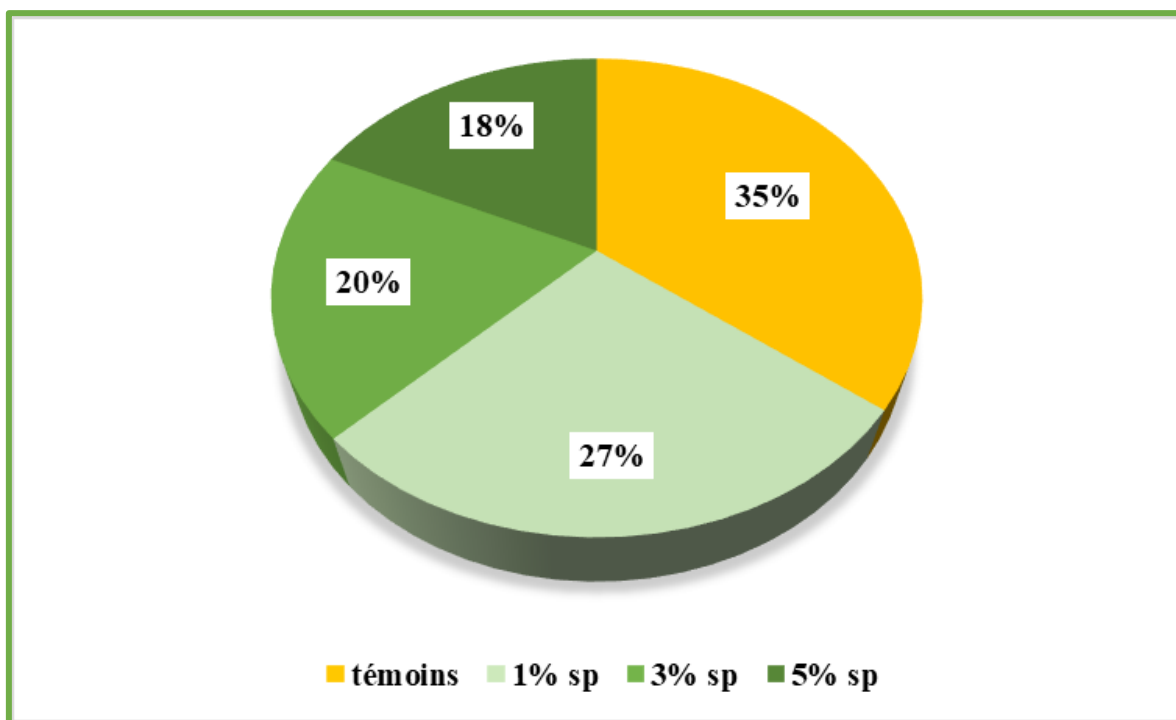


Figure 35 : Résultats de l'acceptabilité globale de « Trida » enrichie.

La figure 35 représente les résultats de l'acceptabilité globale de « Trida » enrichie à 1 %, 3% et 5% par la poudre de spiruline, selon le degré d'appréciation des dégustateurs (détesté, légèrement aimé, aimé, adoré).

Nous observons que la pâte témoins est aimée de la part des dégustateurs, et par rapport à la pâte enrichie 1%, 3%, 5% ; nous remarquons qu'elle est légèrement aimée (27%, 20%, 18% respectivement). Donc, plus la dose de la spiruline est élevée, l'acceptabilité est faible.

Conclusion et perspectives

Cette étude a pour objectif l'incorporation de la poudre de spiruline à différentes doses 1 %, 3 % et 5% dans la fabrication des pâtes alimentaires et la détermination de l'impact de cette poudre sur la qualité technologique, organoleptique, physico chimique et les propriétés culinaires du produit fini « Trida ».

A la lumière des résultats obtenus à partir de cette étude, nous pouvons dire que la matière première de la pâte alimentaire « semoule » est de bonne qualité ; elle a une granulométrie acceptable, un taux de cendres de 0.86 % et une teneur d'humidité de 12.99% qui sont conformes aux normes algériennes.

Par ailleurs, l'ajout progressif de la poudre de spiruline à différentes doses 1 %, 3 % et 5% a un impact négatif sur les indices de clarté (L^*), de brun (a^*) et l'indice de jaune (b^*). Cependant, cette addition a augmenté l'humidité, le taux de cendres, le temps de cuisson et l'indice de gonflement de la pâte Trida. Cet effet est positif pour certains paramètres comme les cendres et l'indice de gonflement et négatif pour d'autres paramètres tels que l'humidité et le temps de cuisson.

Les analyses sensorielles ont montré que, plus la proportion de la spiruline est faible, plus la pâte devient acceptable par les consommateurs. Donc, l'incorporation de la spiruline est possible et intéressante pour obtenir des produits de meilleure qualité nutritionnelle et fonctionnelle. Mais, le pigment vert-bleu très foncé demeure gênant et limitant de l'acceptabilité de ce produit car le consommateur n'a pas l'habitude de manger des pâtes colorées « vertes », ce qui nécessite de faire un effort de sensibilisation pour changer les mauvaises habitudes alimentaires et convaincre les gens à consommer les nouveaux produits à forte valeur nutritionnelle.

En perspectives, ce présent travail peut d'être complété et approfondi par :

- ✓ Analyses rhéologiques de la pâte après l'addition de la spiruline ;
- ✓ Dosage du taux de protéine et de lipides et de fibres alimentaires dans la pâte enrichie ;
- ✓ Définir la nature hygiénique de produits par des analyses microbiologiques approfondies ;
- ✓ Elaboration des produits diététiques à base de la poudre de spiruline tels que : le pain, les biscuits ;
- ✓ Extraction du pigment de la spiruline et faire des essais d'enrichissement des pâtes à des doses plus élevées.

Références bibliographiques

A

Abdallah, M., Benkhirddine, B., Benammar, L. (2020). Culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région de M'sila et l'extraction de phycocyanine. Mémoire de Master, Université mohamed boudiaf- m'sila.

Abecassis, J., (1993). Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. Industries des céréales 81. 25-37p.

Agama-acevedo, E., Islas-hernandez, J. J., Osorio-díaz, P., Rendónvillalobos, R., Utrilla-coello, R. G., Angulo, O., & Bello-pérez, L. A. (2009). Pasta with unripe banana flour: Physical, texture, and preference study. Journal of Food Science, **74**(6) : 263-267p.

Ahounou, M. N., (2018). La spiruline : Un complément alimentaire en conseil à l'officine. Enquête d'utilisation. Thèse pour l'obtention d'un Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université de Rouen, UFR de Médecine et de Pharmacie, p 17-27, 40.

Alais, D., et Burr, D. (2003). "The "flash-lag" effect occurs in audition and cross-modally." Current Biology, **13**(1), 59-63p.

ANONYME 2, (2002). METTLER TOLEDO brochure d'application détermination du taux d'humidité, 05-15p.

AOAC, (1998). Official Methods of Analysis. Washington, DC. USA: Association of Official Analytical Chemists. 16th Ed, 4th revision.

Audrey, M., (2016). La spiruline : Indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine, 11p.

B

Banks, J., (2007). Etude de la Spiruline au Palacret, Etudier la Faisabilité de la Mise en Place d'une Filière Spiruline sur le site du Palacret, dans les Côtes d'Armor, Manuel, 10-11p.

Bar., (1995). Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. Guide pratique. ITCF. Paris, 253p.

Barth et Leo., (2019). Le Guide Complet de la Spiruline, Article scientifique, <https://naturalathleteclub.com/blog/savoir-spiruline-bienfaits/> consulter le 32/03 a 14 :08.

Bechere, E.R., Pena, J., et Mitiku, D., (2002). Glutenin Composition, Quality Characteristics, and Agronomic Attributes of Durum Wheat Cultivars Released in Ethiopia. *African Crop Science Journal*. **10**(2). 173-182 p.

Blunden, G., (1991). Utilisations agricoles des algues et des extraits d'algues. Dans : Guiry MD, Blunden G (eds) *Ressources en algues en Europe : usages et potentiel*. Wiley, Chicester. 65-81p.

Boudaoud, S., (2016). Incorporation de la Spiruline sur les Qualités Nutritionnelles, Organoleptiques et Technologiques du Couscous Artisanal, Mémoire de Master en Agronomie, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen. 35p.

Boudreau, A., Menard, G., (1992). Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Presse de l'université Laval. 194-213p.

Boukezoula, F., (2003). Ckekhchoukha, enquête de consommation dans l'est algérien, fabrication traditionnelle et qualité. Thèse de magister, option : nutrition humaine, Constantine, Algérie. 121p.

C

Calvel, R., (1984). La boulangerie moderne (Eyrolles Ed. 9ème ed.). Paris, FRANCE.

Casal, A., (2019). Aliment Idéal et le plus Complet de Demain, Site web, www.spirulinefrance.fr. consulter le 29/03 a 16 :45.

Cayla, M., (1995). Découvrez des algues propriétés applications recettes. Editions Chiron.

CEVA., (2014). Réglementation algues alimentaires, synthèse CEVA. Centre d'Etude et de Valorisation des Algues. France.

Charpy, L., Langlade, M. J., Alliod, R., (2008). La Spiruline peut-elle être un Atout pour la Santé et le Développement en Afrique ? Institut de recherche pour le développement, Marseille. 6-16p.

Chouikhi, A., (2013). Les applications potentielles des macro algues marines et les activités pharmacologiques de leurs métabolites : revue. USTHB-FBS-4th International Congress of the Population & Animal Communities – Dynamics & Biodiversity of the terrestrial & aquatic ecosystems “CIPCA4” TAGHIT (Bechar) – Algeria.

CIFERRI, O., (1983). Spirulina, the edible microorganism. Microbiological reviews, **47**(4): p 551.

Clarke, J.M., Marchylo, B.A., Kovacsm, I.P., Noll J.S., Mcaig T.N., et Howes N.K., (1998). Breeding durum wheat for pasta quality in Canada. Euphytica. 100. 163-170 p.

CODEX ALIMENTARUS., (2007). Commission du Codex Alimentarius et le programme FAO et OMS sur les normes alimentaires : Céréales, légumes secs, légumineuses et matières protéiques végétales, norme codex pour la semoule et la farine de blé dur. Codex stan 178-1991 (rév. 1-1995).65 p

D

Dabouineau, L., (2004). Un autre regard sur les algues marines. Le rôle d'eau. Vol. **118**: 1-4p.

Demarchi F., (1994). La qualité des blés durs et des pâtes alimentaires, Séminaire européen COMETT 27-29 Janvier. Montpellier.

Djermoun, A., (2009). La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. Nature et Technologie, **01** : 45-53p.

Doumandji, A., Boutekrabt, L., Saidi, N., Doumandji, S., Hamerouch, D., et Haouari, S., (2012). Etude de l'impact de l'incorporation de la spiruline sur les propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du couscous artisanal. « Nature & Technologie ». n° 06/Janvier 2012. 47 p.

Edwards, N.M., Peressini, D., Dexter, J.E., et Mulvaney, S.J., (2001). Viscoelastic properties of durum wheat and common wheat of different strengths. Rheological Acta.(40).142-53 p.

F

F.A.O, (1995). Food and Agriculture Organisation. Norme codex pour la semoule et la farine de blé dur, CODEX STAN 178-1991. 65 p.

Falquet, J., et Hurni, J-P., (2006). Spiruline : aspects nutritionnels. Antenna Technologies.

Feillet, P., Autranj, C., Icard-vernieri, C., (2000). Bases biochimiques du brunissement des pâtes alimentaires, Unité de Technologie des Céréales et des Agro-polymères, Institut National de la Recherche Agronomique, 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 1, France.431-438 p.

Feillet, P., (2000). Le grain de blé : composition et utilisation. Ed .INRA. 57-281- 303-308 p.

Feillet, P., (1986). L'industrie des pâtes alimentaires : Technologie de fonction, qualité des produits finis et des matières premières. 144. 978p.

Fortin, J., 1999 .Le guide des aliments .Edition Québec Amérique.29 p.

Fox, R.D., (1999). La spiruline (Technique, pratique et promesse), Édition sud, Aix-en Provence.

G

Garon-lardiere, S., (2004). Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales). Université De Bretagne Occidentale.

Giese, J., (1992). Pasta: New twists on an old product. Food technology (Chicago). **46**(2). 118-126 p.

Goulambasse, T. R., 2018. La Spiruline : Activités Thérapeutiques et son Intérêt dans la Lutte contre la Malnutrition à Madagascar, Thèse pour le diplôme d'état de Docteur en Pharmacie, université de Lille, p 9-16, 46

Guillaume, P., (2010). Caractérisation biochimique d'exo polymères d'origine algale du bassin de Marennes-Oléron et étude des propriétés physico-chimiques de surface de microorganismes impliquées dans leur adhésion. Thèse de doctorat en biochimie, Université de La Rochelle, France.

Guiry, M.D. et Guiry, G.M., (2014). Algae Base. Worldwide electronic publication, National University OfIreland, Galway. <http://www.algaebase.org>. Journal of Bioscience et Bioengineering. **101**: 87-96 p.

H

Hamroun, W., (2006). Etat d'infestation de quelques régions céréalières d'Algérie. Thèse de Magister, INA, El-Harrach, 120 p.

Houliarpoulos, S., Abecassis, J., Autran, J.C., (1981). Produits de mouture du blé dur: coloration et caractéristique culinaires» Ind Céréales, Tec et Doc. Lavoisier : Paris. 347-348 p.

I.T.C.F, (2001). Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux: guide pratique.

J

JORA, (2007). Journal Officiel de la République Algérienne Les prix à la production et aux différents stades de la distribution des semoules de blé dur,n° 07-402. 8 p.

Jourdan, J. P., (2006). Manuel de culture artisanale de la production de la spiruline.

Journal officiel de la république algérienne N° 55.20 Août 1997.

Jung, F., Krüger-genge, A., Waldeck, P., et Küpper, J. H. (2019). Spirulina platensis, a super food? Journal of Cellular Biotechnology. **5**(1): 43-54p.

K

Kent, N.L., Evers, A.D., (1994). Technology of cereals. Ed. Elsevier science Inc,4ème édition, New York, 234 p.

Kiger, J.L, Kiger, J.G., (1967).Techniques modernes de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielle et artisanale et les produits de regime, ed : DUNO, Paris.1967, 676 p.

Komprobst, J. M. (2005). Substances naturelles d'origine marine Chimio diversité,

Krishnan, M., et Prabhasankar, P., (2010). Studies on pasting, microstructure, sensory, and nutritional profile of pasta influenced by sprouted finger millet (*Eleucina coracana*) and green banana (*Musa paradisiaca*) flours. Journal of Texture Studies, **41**(6), 825-841p.

L

Lahaye, (1991). Marine algae as source of fibres: determination of soluble and insoluble dietary fibre content in some “sea-vegetables”. Journal sciences Food Agricole **54**: 587-94 p.

Le bras, Q., Ritter, L., Fasquel, D., Lesueur, M., Lucas, S., Gouin, S., (2016). Etude de la consommation des algues alimentaires en France. Programme IDEALG Phase 1. Etude nationale.

Leclerc, V., (2010). Les secrets des algues, 1ère Edition. Quae, 13p

Lecointre R., (2017). Optimisation de la production de spiruline dans une ferme Madagascar afin de lutter contre la malnutrition infantile, Mémoire d’Ingénieur, Agroalimentaire, Oniris, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l’Alimentation, Nantes Atlantiques, 5 p.

Lewin, R. A., (1974). “Algal Physiology and Biochemistry” , Botanical Monograph, Edit W. P. Stewart, University of California Press, Berkeley and los Angeles.

M

Mabeau, S., et Fleurence, J., (1993). Seaweed in food products: biochemical and nutritional aspects. *Trends Food Sci Tech.* 4, 103-107 p.

Manet, A., (2016). La spiruline : Indications Thérapeutiques, Risques Sanitaires et Conseils à l'Officine, Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en pharmacie, Diplôme d'état, Université Grenoble Alpes, Faculté de Pharmacie de Grenoble.

Mariani-costantini, A., (1988). "Image and nutritional role of pasta in changing food patterns."

Melcion, J.P., (2000). La granulométrie de l'aliment : principe, mesure et obtention. *INRA Prod.Anim. Paris.* 13(2) : 81-89 p.

Metting, B., Rayburn, W.R., Reynaud, P.A. (1988). Algues et agriculture. Dans: Lembi CA, Waaland JR (eds) *Algae and human Affairs.* Cambridge University Press, Cambridge, Royaume- Uni. 335-370 p.

Michka, (2005). La spiruline pour l'homme et la planète, Terra Magna Georg.

Miranda, M. S., Cintra, R. G., Barros, S. B., (1998). Antioxydant Activity of the Micoalga *Spirulina maxima*, *Braz J Med Biol Res,* 1998. 31: 1075-9 p.

Mohtadji-Lamballais, C. (1989). Les aliments: Maloine

Morris, I., (1967)."An Introduction to the Algae",Ed. Hutchinson and Co, London, 5 p.

Morancho, J., (2000). "Production et commercialisation du blé dur dans le monde." *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: new challenges.* Zaragoza, 12-14 p.

N

Niangara, U. F., (2017). Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé : Eclairage et Estimation de la Biomasse, Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse, Université Toulouse 3, Paul Sabatier, 39 p.

Noziah, M.H., et Ching, C.Y., (2000). Nutritional composition of edible seaweed. *Gracilaria changgi.* *Food chemistry.* 68, 69-76. 264p.

P

Perez, R. (1997) Ces algues qui nous entourent. In arbault, S., Barbaroux, O., Phliponeau, P., Rouxel, C. (Eds). France, Plouzané Editions IFREMER, 272 p.

Perrault, A., (2017). A la Recherche de Nouveaux Caroténoïdes Super Antioxydants, Portail Actus, INRA, Université d'Avignon, France.

Petitot, M., Abecassis, J., Micard, V., (2009). Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity. Food Science Technology, **20**. 521-532p.

Petitot, M., Brossard, CH., Barron, C., Larré, C., Morel, M.H., et Micard, V., (2009). Modification of pasta structure induced by high drying temperatures. Effects of the in vitro digestibility of protein and starch fractions and the potential allergenicity of protein hydrolysates. Food Chemistry. (116). 401-412 p.

Pinarli, I., İbanoğlu, Ş., et Öner, M. D., (2004). Effect of storage on the selected properties of macaroni enriched with wheat germ. Journal of food engineering, **64**(2), 249-256p.

Praud, A., (1994). Isolement, caractérisation structurale et analyse de nouveaux métabolites d'algues méditerranéennes appartenant aux genres *Cystoseira* et *Lyngbia*. Thèse. Doc. Sien.Spectro. Physico-chimie Structurale, Univ.Aix-Marseille 1. France, 186p.

R

Raffio, A., Pasquelone, A., Sinesi, F., Paletti, F., Quagliia, G., et Simoine, R., (2003).Influence of durum wheat cultivar on the sensory profile and staling rate of altamura bread. European food research and technology. (218). 49-55p.

Roger, P.A., (2006). Les cyanobactéries : définition. Disponible sur : <http://pagesperso-orange.fr/cyanobacteries/pages/Introduction/definition.htm> 2006 consulter le 11/04 a 11 :36.

Rorrer, G.L. et Cheney, D.P., (2004). Bioprocess engineering of cell and tissue cultures for marine seaweeds. Aquacultural Engineering, 32, 11-41 p.

S

Salmi, M., Merbah, S., (2015). Etude de la qualité globale de semoules du commerce Algérien.Memoire d'Ingeniorat en Agronomie. FAC agro Biologie. Spécialité: Technologie Alimentaire.47 p.

Sanchez-machado, D.I., Lopez-cervantes, J., Lopez-hernandez, J., et paseiro-losada, P., (2004). Fatty acids, total lipid, protein and ash content of processed edible seaweeds. Food Chem, 85, 439-444 p.

Scheldeman, P., Baurain, D., Bouhy, R., Scott, M., Mühling, M., Whitton, B. A., et Wilmotte, A., (1999). 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 microbiology letters*, **172**(2), 213-222.

Sguera, S., (2008). Spirulina platensis et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Thèse docteur en pharmacie. Faculté de pharmacie. Université Henri Poincaré - Nancy 1, Faculté de Pharmacie, p 15.

Shmitz, T., (2014). Les Incroyables Propriétés de la Phycocyanine, Principe de santé, Revue N° 72.

Singh, H., et Macritchie, F., (2004). Changes in proteins induced by heating gluten dispersions at high temperature. *Journal of cereal Science*. **39**(2). 297-301 p

Spolaore, P., Joannis cassan, C., Duran, E., Isambert, A., (2006). Applications commerciales des microalgues. *Journal of Bioscience et Bioengineering* 101: 87-96 p.

Stephenson, C., (1983). World's best pasta. *Macaroni journal*.

T

Theodore, Z. G. H. C., (2017). Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé: éclairage et estimation de la biomasse (Doctoral dissertation, Toulouse 3).

Torres, A., Frias, J., Granito, M., et Vidal-valverde, C., (2007). Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: Chemical, biological and sensory evaluation. *Food chemistry*, **101**(1), 202-211p.

Tremblin, G., Moreau, B., (2017). La Spiruline sera-t-elle l'Aliment Miracle du XXIème siècle ? Article, Le Mans Université.

V

Vidalo, J. L., (2015). Spiruline, l'algue bleue de santé et de prévention, Livre, Chapitre 3 / Cancer et Spiruline, p 101, Chapitre 16 / Universelle spiruline. A chacun son profil p. 240.

Vonshak, A., (2002). *Spirulina platensis* (Arthrospira) : Physiology, Cell-biology and Biotechnology, p 1-17.

Xue, C., Hu, Y., Saito, H., Zhang, Z., Li, Z., Cai, Y., Ou, C., Lin, H., Imbs, AB., (2002).
Molecular species composition of glycolipids from *Spirulina platensis* Food Chemistry 77, 9–
13.

Glossaire

- **AFNOR NF 03-721** : Méthode de détermination du taux d'affleurement des semoules de blé dur. il s'applique aux échantillons de semoule de blé dur obtenue uniquement par mouture sans agglomération ultérieure ayant une teneur en eau supérieure à 10%.
- **AFNOR NFV 03-707** : Méthode de référence pratique pour la détermination de la teneur en eau dans les céréales et les produits céréaliers, à l'état de grain, grain broyés, semoule ou farine.

Annexes

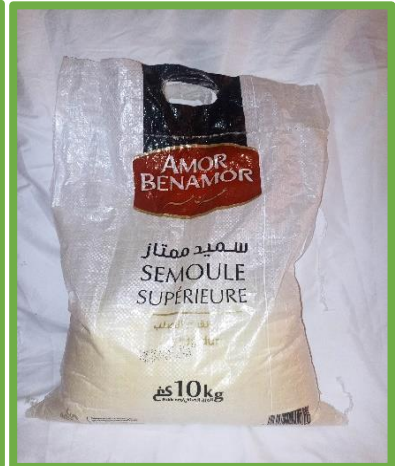
Annexe 01 : Matériel utilisé



La spiruline



Récipient



Semoule Amor Benamor



Broyeur



Four à moufle



Balance



Dessiccateur



Balance analytique



Couscoussier

Annexe 01 : Matériel utilisé



Eprouvette



Tamis granulométriques



Creusets



Colorimètre CR-410



**Machine à pâte de type
laminage**



**Plaque en verre/baguette
en plastique**



Tamiseur ROTA CHOC



Pied à coulisse



**Dessiccateur halogène
HG63**

Fiche d'analyse sensorielle (pâte cuite)

Nom et prénom :....

Date :....

Sexe :.....

Veillez examiner et goûter chaque échantillon de pâte cuite traditionnelle « Trida » et donnez une note de 1 à 9 selon l'intensité du caractère. (Le 1 représente une intensité faible et le 9 une intensité élevée.)

Couleur : [1-3] : claire, [4-6] : moyenne, [7-9] : foncé).

	A	B	C	D
Couleur				

Goût : [1-3] : désagréable, [4-6] : acceptable, [7-9] : agréable).

	A	B	C	D
Goût				

Odeur : [1-3] légère : [4-6] : moyenne, [7-9]: forte).

	A	B	C	D
Odeur				

Texture : [1-3] : mole, [4-6] : moyenne, [7-9] : dure.

	A	B	C	D
Texture				

Collant ou bien l'adhésion : [1-3] : faible, [4-6] : moyenne, [7-9] : forte.

	A	B	C	D
Collant				

Aspect : [1-3] : lisse, [4-6] : moyen, [7-9] : rugueux.

	A	B	C	D
Aspect				

Acceptabilité globale : [1-2] : détesté, [3-4] : légèrement aimé , [5-6] : aimé , [7-9] : adoré.

	A	B	C	D
Acceptabilité globale				

Fiche d'analyse sensorielle (pâte sec)

Nom et prénom :....

Date :....

Sexe :.....

Veillez examiner et goûter chaque échantillon de pâte sec traditionnelle « Trida » et donnez une note de 1 à 9 selon l'intensité du caractère. (Le 1 représente une intensité faible et le 9 une intensité élevée.)

Couleur : [1-3] : claire, [4-6] : moyenne, [7-9] : foncé.

	A	B	C	D
Couleur				

Odeur : [1-3] légère : [4-6] : moyenne, [7-9] : forte.

	A	B	C	D
Odeur				

Aspect : [1-3] : lisse, [4-6] : moyen, [7-9] : rugueux.

	A	B	C	D
Aspect				

Texture : [1-3] : mole, [4-6] : moyenne, [7-9] : dure.

	A	B	C	D
Texture				

Tableau 01 : Granulométrie de la semoule.

Echantillon	<150	[150-200]	[200-250]	[250-355]	[355-450]	[450-500]	[500-600]	>600
1	0.5	5.3	11.5	23.1	18.9	7.4	13.1	19.9
2	0.2	2.9	13.5	24.5	18.5	7.7	13.3	19.4
3	1.2	0.1	8.5	31.7	18.7	7.4	13.1	19.1
M	0.63	2.76	11.16	26.43	18.7	7.5	13.16	19.46

Tableau 02 : Teneur en eau de la semoule.

Echantillon	Teneur en eau (%)
1	12.95 ± 0,01
2	13.04 ± 0,01
3	12.98 ± 0,01
M	12.99 ± 0,01

Tableau 03 : Couleur de la semoule.

Echantillon	Indice de clarté L*	Indice de brun a*	Indice de jaune b*
1	83.34± 0,01	-2.16± 0,01	36.25± 0,01
2	82.24± 0,01	-2.03± 0,01	36.90± 0,01
3	83.57± 0,01	-2.13± 0,01	35.92± 0,01
M	83,05	-2,11	36,36

Tableau 04 : Taux de cendre de la semoule.

Echantillon	Taux de cendre (%)
1	0.94± 0,01
2	0.84± 0,01
3	0.80± 0,01
M	0.86± 0,01

Tableau 05 : Couleur de la pâte alimentaire.

Echantillon	Indice de clarté L*	Indice de brun a*	Indice de jaune b*
1 (témoin)	51,19± 0,01	5,8± 0,01	36,12± 0,01
2 (dose de 1% de sp)	52.68± 0,01	-12.60± 0,01	4.33± 0,01
3 (dose de 3% de sp)	39.61± 0,01	-8.28± 0,01	1.47± 0,01
4 (dose de 5% de sp)	37.68± 0,01	-6.74± 0,01	0.98± 0,01

Tableau 06 : Teneur en eau de la pâte alimentaire.

Echantillon	Teneur en eau (%)
1 (témoin)	12.30 ± 0,01
2 (dose de 1% de sp)	13.03 ± 0,01
3 (dose de 3% de sp)	13.26 ± 0,01
4 (dose de 5% de sp)	13.32 ± 0,01

Tableau 07 : Taux de cendre de la pâte alimentaire.

Echantillon	Taux de cendre (%)
1 (témoin)	1.87± 0,01
2 (dose de 1% de sp)	2.16± 0,01
3 (dose de 3% de sp)	2.31± 0,01
4 (dose de 5% de sp)	2.47± 0,01

Tableau 08 : Indice de gonflement de la pâte alimentaire.

Echantillon	Indice de gonflement
1 (témoin)	0.67± 0,01
2 (dose de 1% de sp)	1.03± 0,01
3 (dose de 3% de sp)	1.47± 0,01
4 (dose de 5% de sp)	1.99± 0,01

Annexe 05 : résultat de l'analyse sensorielle de la pâte cuite

La couleur

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	3	4	7	9
2	1	4	7	9
3	5	4	9	8
4	1	4	7	9
5	5	4	8	8
6	1	6	5	9
7	2	3	7	8
8	1	3	7	9
9	5	8	7	9
10	5	3	7	9
11	1	5	5	9
12	1	4	7	4
13	2	4	6	9
14	3	4	5	9
15	1	5	6	8
16	4	6	5	9
17	2	6	7	9
18	3	6	8	8
19	4	5	7	8
20	1	5	4	9
21	1	5	6	9
22	1	4	7	9
23	4	4	6	9
24	2	5	5	9
25	3	4	7	9
26	7	2	6	9
27	4	4	5	9
28	1	2	7	9
29	2	3	6	9
30	2	4	5	9
31	2	3	6	9
32	1	2	7	9
33	1	7	7	9
M	2,48484848	4,303030303	6,393939394	8,666666667

Le Goût

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	4	6	3	4
2	4	4	3	6
3	4	5	2	1
4	5	2	2	1
5	9	3	1	6
6	8	5	4	1

Annexe 05 : résultat de l'analyse sensorielle de la pâte cuite

7	6	3	3	4
8	5	3	3	1
9	9	3	4	3
10	5	5	2	1
11	8	1	4	9
12	5	4	2	1
13	6	9	3	6
14	6	4	3	3
15	7	6	4	4
16	3	2	6	4
17	3	4	3	3
18	5	3	3	3
19	7	8	3	8
20	4	6	4	3
21	9	6	9	7
22	7	5	3	2
23	4	9	1	1
24	7	4	5	3
25	5	9	6	9
26	3	3	4	1
27	4	4	3	1
28	1	9	6	4
29	5	4	2	3
30	2	4	6	9
31	4	3	5	2
32	4	4	3	9
33	7	8	5	6
M	5,303030303	4,787878788	3,636363636	3,909090909

L'odeur

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	4	6	3	4
2	4	4	3	6
3	4	5	2	1
4	5	2	2	1
5	9	3	1	6
6	8	5	4	1
7	6	3	3	4
8	5	3	3	1
9	9	3	4	3
10	5	5	2	1
11	8	1	4	9
12	5	4	2	1
13	6	9	3	6
14	6	4	3	3
15	7	6	4	4

Annexe 05 : résultat de l'analyse sensorielle de la pâte cuite

16	3	2	6	4
17	3	4	3	3
18	5	3	3	3
19	7	8	3	8
20	4	6	4	3
21	9	6	9	7
22	7	5	3	2
23	4	9	1	1
24	7	4	5	3
25	5	9	6	9
26	3	3	4	1
27	4	4	3	1
28	1	9	6	4
29	5	4	2	3
30	2	4	6	9
31	4	3	5	2
32	4	4	3	9
33	7	8	5	6
M	5,303030303	4,787878788	3,636363636	3,909090909

La texture

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	4	5	2	8
2	5	6	5	6
3	5	1	2	6
4	5	1	5	6
5	2	8	2	5
6	4	4	3	7
7	5	6	6	9
8	3	2	6	8
9	7	2	4	4
10	5	2	6	4
11	1	4	1	6
12	2	4	4	3
13	4	7	2	4
14	4	8	4	2
15	2	2	4	4
16	3	5	4	3
17	5	2	4	4
18	4	6	3	3
19	5	3	4	4
20	5	4	6	4
21	8	7	5	7
22	1	4	3	7
23	5	1	5	1
24	1	6	4	6

Annexe 05 : résultat de l'analyse sensorielle de la pâte cuite

25	4	6	5	3
26	5	4	6	9
27	2	5	6	7
28	2	4	3	3
29	3	3	6	1
30	2	5	6	5
31	3	7	5	2
32	5	5	5	5
33	3	5	5	2
M	3,757575758	4,363636364	4,272727273	4,787878788

Le collant

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	2	3	4	6
2	8	4	4	8
3	2	5	4	6
4	6	4	2	1
5	6	6	3	1
6	1	6	5	9
7	2	4	7	9
8	3	3	6	9
9	3	4	6	3
10	1	4	3	3
11	9	4	5	2
12	4	4	5	4
13	5	5	7	7
14	4	7	5	4
15	4	9	1	1
16	7	4	4	2
17	3	5	6	6
18	7	4	4	2
19	7	1	3	1
20	8	4	3	2
21	2	5	5	5
22	1	4	4	1
23	7	5	4	1
24	1	2	2	3
25	3	3	7	8
26	2	4	1	1
27	2	4	6	7
28	9	3	2	2
29	3	3	7	7
30	4	4	7	7
31	5	9	6	6
32	4	1	4	7
33	4	3	3	1

Annexe 05 : résultat de l'analyse sensorielle de la pâte cuite

M	4,21212121	4,242424242	4,393939394	4,303030303
----------	------------	-------------	-------------	-------------

L'aspect

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	4	5	1	1
2	7	5	5	7
3	5	6	6	6
4	3	1	4	6
5	2	1	5	6
6	1	5	5	8
7	3	4	6	8
8	4	4	3	1
9	2	1	4	6
10	3	4	2	7
11	2	3	5	5
12	1	3	4	7
13	4	4	3	3
14	5	5	5	2
15	8	9	5	2
16	3	3	5	5
17	4	5	3	3
18	2	3	5	5
19	5	3	7	3
20	3	5	5	7
21	3	5	5	3
22	4	3	3	5
23	1	2	2	7
24	2	2	2	1
25	2	4	4	4
26	1	4	6	7
27	7	6	3	2
28	3	4	5	7
29	4	5	7	7
30	7	4	3	1
31	5	6	8	7
32	2	3	6	3
33	4	3	3	3
M	3,515151515	3,939393939	4,393939394	4,696969697

Acceptabilité globale

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	1	3	1	1
2	8	1	1	1
3	6	4	2	6

Annexe 05 : résultat de l'analyse sensorielle de la pâte cuite

4	8	1	1	1
5	3	5	3	2
6	3	5	3	2
7	2	4	5	7
8	7	5	3	2
9	5	3	4	2
10	6	7	3	4
11	7	4	6	4
12	6	7	3	4
13	9	6	7	6
14	9	6	3	1
15	9	9	9	9
16	9	6	1	3
17	2	2	2	2
18	2	2	2	2
19	8	8	8	8
20	9	9	5	1
21	7	5	5	4
22	7	2	2	1
23	2	4	4	9
24	8	6	3	1
25	9	6	1	2
26	6	3	2	1
27	4	2	2	1
28	3	3	4	1
29	9	6	4	1
30	5	3	1	1
31	5	4	1	1
32	6	6	5	6
33	6	3	2	2
M	5,939393939	4,54545455	3,27272727	3

Annexe 06 : résultat de l'analyse sensorielle de la pâte sac

La couleur

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	2	5	6	8
2	3	4	7	9
3	1	5	6	9
4	2	5	7	9
5	1	4	7	9
6	1	4	6	9
7	1	4	6	8
8	2	5	7	9
9	2	5	7	9
10	1	3	4	9
11	1	4	6	9
12	1	3	7	9
13	2	3	5	9
14	4	6	7	8
15	1	4	7	8
16	1	4	8	9
17	2	4	5	8
18	1	4	6	9
19	2	4	8	9
20	1	4	6	9
21	2	4	6	8
22	2	5	7	9
23	1	4	4	8
24	1	5	6	9
25	3	4	6	9
26	1	4	7	9
27	2	4	6	8
28	1	4	7	7
29	2	5	8	8
30	3	6	8	9
31	3	6	7	9
32	2	8	9	9
33	2	5	7	9
M	1,72727273	4,48484848	6,54545455	8,66666667

L'odeur

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	2	1	2	4
2	1	1	1	1
3	1	8	9	9
4	1	1	1	2
5	2	3	3	3

Annexe 06 : résultat de l'analyse sensorielle de la pâte sac

6	1	1	1	1
7	2	4	4	4
8	3	7	8	9
9	1	1	1	3
10	1	2	5	7
11	1	3	6	9
12	1	4	4	8
13	1	1	1	1
14	1	1	2	3
15	1	1	1	1
16	1	1	1	1
17	1	1	1	1
18	1	1	4	5
19	1	1	1	4
20	1	1	1	1
21	1	1	1	1
22	1	1	2	4
23	1	1	3	7
24	1	1	1	3
25	1	4	5	9
26	3	4	8	9
27	1	1	2	4
28	1	2	3	6
29	3	6	8	9
30	1	3	6	8
31	1	4	6	9
32	3	2	5	6
33	2	5	6	9
M	1,36363636	2,39393939	3,42424242	4,87878788

L'aspect

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	4	5	7	9
2	6	9	9	9
3	4	7	8	9
4	4	6	7	9
5	2	6	7	9
6	1	4	6	7
7	4	3	5	6
8	7	5	9	6
9	7	4	8	8
10	3	9	4	4
11	2	4	6	6
12	3	4	7	8
13	4	4	4	7
14	4	4	4	7

Annexe 06 : résultat de l'analyse sensorielle de la pâte sac

15	1	9	5	5
16	4	5	7	8
17	3	9	4	4
18	5	7	9	9
19	4	5	7	8
20	2	2	6	6
21	4	4	4	4
22	1	6	6	8
23	2	2	2	2
24	2	4	7	8
25	1	4	5	7
26	4	6	7	9
27	1	3	4	6
28	4	4	4	4
29	1	4	7	8
30	2	3	3	3
31	9	9	9	9
32	2	3	3	3
33	3	5	5	5
M	3,33333333	5,09090909	5,90909091	6,66666667

La texture

Dégustateur	témoin	dose de 1% de sp	dose de 3% de sp	dose de 5% de sp
1	6	3	3	4
2	6	7	7	7
3	9	8	9	8
4	8	7	7	7
5	3	4	5	6
6	5	5	6	6
7	2	2	7	9
8	7	8	9	9
9	4	7	7	9
10	9	9	9	9
11	4	4	6	6
12	6	7	8	8
13	5	5	5	5
14	5	6	6	4
15	9	9	9	9
16	4	5	6	3
17	9	9	9	9
18	9	9	9	9
19	9	9	9	9
20	2	2	6	6
21	6	6	5	6
22	2	2	2	2
23	1	5	5	7

Annexe 06 : résultat de l'analyse sensorielle de la pâte sac

24	5	6	5	4
25	8	3	4	1
26	7	9	9	9
27	1	2	3	3
28	3	4	4	6
29	8	5	5	3
30	7	9	9	9
31	7	8	9	9
32	6	7	6	6
33	3	6	7	8
M	5,60606061	5,96969697	6,51515152	6,51515152