

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

**Étude des caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques
d'une purée à base de la spiruline, la farine de dattes et de la
pomme de terre**

Présenté par :

- BENHAMLA Salsabile
- KRICHIEM Rania Ikram

Devant le jury composé de :

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

JUIN 2024

Remerciements

Tout d'abord notre immense gratitude et nos remerciements, les plus sincères, à Madame LAOUBDIA-SELLAMI Nadjette d'avoir accepté de présider le jury de notre travail.

Un très grand merci à Monsieur MERZOUG Abdelghani d'avoir accepté de consacrer une part de leur temps pour lire et examiner notre travail.

Nos remerciements, les plus sincères, à monsieur MEZROUA El Yamine notre encadrant, pour sa confiance. Nous le remercions vivement pour sa disponibilité, ses orientations pertinentes et avisées, sans lui ce travail n'aurait jamais pu voir le jour.

Enfin, nous tenons à remercier également tous les enseignants du département de biologie de l'université 8 Mai 1945 (Guelma) qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont permis de poursuivre nos études.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents : Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point vous remercier comme il le faut, merci pour votre amour, soutien, et pour vos encouragements, et votre présence à mes côtés qui a toujours été ma source de force pour que je puisse atteindre mes objectifs.

*Que ce travail traduise ma gratitude et mon affection à l'égard de mon frère **Rami** et ma sœur **Nourhane**.*

*À mes chères cousines **Djihane** et **Malak** pour leur amour et leur encouragement, qui ont été une source constante d'inspiration et de soutien tout au long de la rédaction de ce mémoire. Leur présence chaleureuse m'a donné la force de persévérer et de mener à bien ce projet. Merci de tout cœur.*

*À ma meilleure amie **Rania**, ma partenaire de parcours universitaire, merci pour ton aide précieuse ta patience et ta constante présence.*

Enfin, à tous Ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

Salsabîle

Dédicace

Je dédie ce travail à mes êtres les plus chers dans ma vie :

*À mon grand-père **Chadli**, qui me manque énormément. Que Dieu ait son âme. Tu as semé en moi les valeurs de la générosité et de la patience. Je te dédie ce succès en particulier, car j'aurais tant aimé que tu sois là pour partager cette joie avec moi. Tu étais la lumière qui éclairait mon chemin et le soutien inébranlable qui m'a toujours encouragé et inspiré.*

À ma chère mère, source infinie d'Amour et de tendresse, qui a toujours été mon pilier et ma lumière. Chaque mot d'encouragement, chaque geste affectueux de ta part m'ont poussé à aller de l'avant, et chaque sacrifice que tu as fait a été la pierre angulaire de cette réussite. Tu as toujours été mon refuge sûr, la flamme qui éclaire mon chemin dans les moments les plus sombres. Aucune parole ne peut exprimer ma gratitude pour tout ce que tu m'as donné, ton soutien et ton amour inconditionnels. Ce succès est le fruit de tes sacrifices et de tes efforts, et je te le dédie avec fierté et amour.

À mon cher père, qui n'a jamais ménagé ses efforts ou ses conseils et qui m'a soutenu continuellement à chaque étape.

*À mon grand frère **Aymen** et ma sœur **Maya**, mes compagnons de route, qui ont toujours été une source de force, de soutien et d'encouragement à chaque étape de ma vie.*

*Ma grand-mère **Ghamra**, À ma tante tata **Delia**, mes chéries, merci pour chaque instant de soutien et d'encouragement, pour votre présence à mes côtés tout au long de ce parcours et de cette réussite.*

*À ma cousine, ma moitié et ma sœur **Manal**, qui m'a beaucoup aidé dans mes recherches je n'oublierais jamais son soutien et ces encouragements.*

*Et enfin, à ma chère amie **Sali**, ma partenaire de parcours universitaire, qui a toujours été comme une sœur que ma mère n'a pas eue. Merci pour chaque moment de soutien et d'encouragement.*

Rania

Sommaire

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Liste des symboles

Résumé

Introduction générale..... 1

PREMIERE PARTIE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 01. PUREE DE POMME DE TERRE

1. Définition de purée de pomme de terre	3
2. Classification de purée de pomme de terre	3
2.1. Purée maison.....	3
2.2. Purée industrielle	3
2.3. Purée déshydratée.....	3
3. Qualité de la purée de pomme de terre	4
3.1. Aspect de la purée de pomme de terre	4
3.2. Qualité culinaire	4
3.3. Qualité hygiénique	4
3.4. Qualité nutritionnelle.....	4
4. Conservation de la purée de pomme de terre.....	4
4.1. Réfrigération.....	5
4.2. Congélation	5
4.3. Utilisation d'agents conservateurs	5
4.4. Atmosphère modifiée	5
5. Consommation de purée de pomme de terre dans le monde	5

CHAPITRE 02. ALGUES

1. Définition des algues	6
---------------------------------------	----------

2. Caractères généraux des algues	6
3. Grands groupes des algues.....	7
3.1. Algues vertes (Chlorophycées).....	7
3.2. Algues bleues (Cyanobactéries)	8
3.3. Algues rouges (Rhodophycées).....	8
3.4. Algues brunes (Phéophycées).....	9
4. Composition biochimique des algues	10
5. Conditions de vie	10
6. Utilisations des algues	11

CHAPITRE 03. SPIRULINE

1. Définition de la spiruline	12
2. Historique	12
3. Morphologie.....	13
4. Taxonomie	14
5. Cycle biologique de reproduction	15
6. Biotope et répartition géographique <i>d'Arthrospira platensis</i>	16
7. Composition et valeur nutritionnelle	16
7.1. Protéines	16
7.2. Glucides.....	17
7.3. Lipides	17
7.4. Minéraux.....	18
7.5. Vitamines.....	19
7.6. Enzymes	19
7.7. Pigments	19
7.7.1. Chlorophylle	19
7.7.2. Phycocyanine	19
8. Principales applications de la spiruline	20
8.1. En alimentation humaine	20
8.2. En alimentation animale	21
8.3. En cosmétique	21

DEUXIEME PARTIE
PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 04. MATERIEL ET METHODES

1. Présentation du lieu d'étude	22
2. Matière première	22
2.1. Pommes de terre	22
2.2. Farine de dattes	22
2.3. Spiruline	22
3. Fabrication de la purée mixte	23
3.1. Nettoyage et épluchage	24
3.2. Découpage	24
3.3. Cuisson dans l'eau bouillante	24
3.4. Addition de farine de dattes.....	25
3.5. Égouttage et écrasement	25
3.6. Addition et malaxage de la spiruline	26
4. Évaluation sensorielle de la purée	26
4.1. Déroulement de l'analyse sensorielle	27
4.1.1. Formulation de purée (pommes de terre + farine de dattes)	27
4.1.2. Formulation de purée à la spiruline	27
5. Analyses physico-chimiques.....	28
5.1. Rhéologie.....	28
5.2. pH.....	29
5.3. Cendres	29
5.4. Humidité.....	30
5.5. Lipides	31
6. Traitement statistique des données	32

CHAPITRE 05. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Analyses sensorielles	33
1.1. Meilleure formulation de purée (pommes de terre + farine de dattes).....	33
1.2. Meilleure formulation de purée à la spiruline	35
2. Analyses physico-chimiques	37

Sommaire

2.1. Rhéologie.....	37
2.2. pH.....	40
2.3. Cendres.....	41
2.4. Humidité.....	42
2.5. Lipides	44
Conclusion.....	46
Références bibliographiques	48
Annexes	

Liste des tableaux

N°	Titre	Pages
Tableau 01	Caractéristiques communes des cyanobactéries aux algues et aux bactéries (Bernard, 2014).	14
Tableau 02	Distribution géographique naturelle d' <i>Arthrospira platensis</i> (Vidalo, 2008).	16
Tableau 03	Teneur moyenne des minéraux (Falquet et Hurni, 2006).	18
Tableau 04	Produits alimentaires à base de spiruline.	20
Tableau 05	Analyse de variance des résultats du pH des différents échantillons de purée mixte.	41
Tableau 06	Analyse de variance des résultats des cendres des différents échantillons de purée mixte.	42
Tableau 07	Analyse de variance des résultats d'humidité des différents échantillons de purée mixte.	43
Tableau 08	Analyse de variance des résultats des lipides des différents échantillons de purée mixte.	45

Liste des figures

N°	Titre	Pages
Figure 01	<i>Ulva lactuca</i> (algue verte).	7
Figure 02	Photo d'algue bleue.	8
Figure 03	Photo d'algue rouge.	9
Figure 04	Photo d'algue brune.	9
Figure 05	Différents aspects de la spiruline. (A) spiralés, (B) ondulée, (C) droite (Goulamabasse, 2018).	13
Figure 06	Cycle biologique de la spiruline (Charpy <i>et al.</i> , 2008).	15
Figure 07	Composition chimique de la spiruline (Lecointre, 2017).	17
Figure 08	Site géographique de laboratoire de contrôle de qualité.	22
Figure 09	Diagramme de fabrication de la purée mixte (Benhamla et krichiem, 2024).	23
Figure 10	Nettoyage de pommes de terre(A). Épluchage de pommes de terre (B) (Benhamla et krichiem 2024).	24
Figure 11	Découpage de pommes de terre (Benhamla et krichiem, 2024).	24
Figure 12	Cuisson dans l'eau bouillante (Benhamla et krichiem, 2024).	25
Figure 13	Addition de la farine de dattes (A). Cuisson de pommes de terre avec la farine de dattes (B) Benhamla et krichiem, 2024).	25
Figure 14	Écrasement de la purée (Benhamla et krichiem, 2024).	26
Figure 15	Addition et malaxage de la spiruline (Benhamla et krichiem, 2024).	26
Figure 16	Photo de déroulement des analyses sensorielles (Benhamla et krichiem, 2024).	27
Figure 17	Disposition expérimentale de l'étude rhéologique (Benhamla et krichiem, 2024).	29
Figure 18	pH-mètre (Benhamla et krichiem, 2024).	29
Figure 19	Photo de four à moufle d'incinération (Benhamla et krichiem, 2024).	30
Figure 20	Photo de l'étuve (Benhamla et krichiem, 2024).	31
Figure 21	Appareil soxhlet d'extraction de la matière grasse (Benhamla et krichiem, 2024).	32
Figure 22	Appréciation générale de la formulation de purée (pommes de terre + farine de dattes).	33

Liste des figures

Figure 23	Profil sensoriel de la purée de la pomme de terre à base de la farine de dattes.	34
Figure 24	Appréciation générale de la purée avec 7% de farine de dattes et enrichie par (1% ,3%,5%,7% et 9%) de la spiruline.	35
Figure 25	Appréciation générale de la purée avec 8% de farine de dattes et enrichie par (1% ,3%,5%,7% et 9%) de la spiruline.	35
Figure 26	Appréciation générale de la purée avec 9% de farine de dattes et enrichie par (1%, 3%, 5%, 7% et 9%) de la spiruline.	36
Figure 27	Profil sensoriel des 3 meilleures formulations.	36
Figure 28	Évolution de la viscosité et la contrainte de purée témoin (100% pomme de terre) en fonction de la vitesse de cisaillement.	37
Figure 29	Évolution de la viscosité et de la contrainte pour la purée avec 7% de farine de dattes et 3% de spiruline en fonction de vitesse de cisaillement.	38
Figure 30	Évolution de la viscosité et de la contrainte pour la purée avec 8% de farine de dattes et 1% de spiruline en fonction de vitesse de cisaillement.	38
Figure 31	Évolution de la viscosité et de la contrainte pour la purée avec 9% de farine de dattes et 1% de spiruline en fonction de vitesse de cisaillement.	38
Figure 32	Module G' et G'' en fonction de la fréquence.	39
Figure 33	pH des différents échantillons de la purée mixte.	40
Figure 34	Teneur en cendres des différents échantillons de la purée mixte.	41
Figure 35	Teneur en eau des différents échantillons de la purée mixte.	43
Figure 36	Teneur en lipides des différents échantillons de la purée mixte.	44

Liste des abréviations

ADN	Acide désoxyribonucléique
AFNOR	Association Française de Normalisation
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
SOD	Super oxyde dismutase
FAO	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
Sp	Spiruline
Fd	Farine de datte
LAIGM	Laboratoire d'analyses industrielles et génie des matériaux

Liste des symboles

G'	Module élastique
G''	Module visqueux
°C	Degré Celsius
T°	Température
τ	Contrainte de cisaillement
Γ	Déformation de cisaillement
$\dot{\gamma}$	Vitesse de cisaillement (en s ⁻¹)
%	Pourcentage
g	Gramme
P	Le poids
O₂	Oxygène
Mo%	Matière organique
H%	Humidité

Résumé

L'incorporation des algues (spiruline) dans les purées de pommes de terre naturellement sucrées par la farine de dattes est une méthode innovante pour améliorer la valeur nutritionnelle de ce produit. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet de l'incorporation de la spiruline et de la farine de dattes sur la qualité physico-chimique et organoleptique de la purée mixte. Pour ce faire, des analyses sensorielles ont été utilisées pour déterminer les meilleures formulations de purée mixte. Ainsi, plusieurs analyses physico-chimiques ont été effectuées pour tester l'effet de l'incorporation de la farine de dattes et de la spiruline sur la qualité physico-chimique de purée mixte. Les analyses sensorielles montrent que les dégustateurs ont préféré les formulations de purée de pomme de terre contenant 7 % de farine de dattes et 3% de spiruline, 8 % de farine de dattes et 1% de spiruline, 9 % de farine de dattes et 1% de spiruline. Par ailleurs, les analyses physico-chimiques montrent que l'augmentation des proportions de farine de dattes et de spiruline entraîne une diminution significative du pH, d'humidité et de viscosité. Néanmoins, la teneur en cendres et en lipides augmente. Donc, l'addition de la spiruline et de la farine de dattes a un effet significatif sur la qualité physicochimique et organoleptique de la purée mixte.

Mots-clés : Spiruline, farine de dattes, purée de pomme de terre, incorporation.

Abstract

The incorporation of algae (spirulina) into potato purees naturally sweetened with date flour is an innovative method to enhance the nutritional value of this product. The objective of this work is to evaluate the effect of incorporating spirulina and date flour on the physicochemical and organoleptic quality of the mixed puree. To do this, sensory analyses were used to determine the best formulations of mixed puree. Additionally, several physicochemical analyses were conducted to test the effect of incorporating date flour and spirulina on the physicochemical quality of the mixed puree. Sensory analyses show that tasters preferred mashed potato formulations containing 7% date flour and 3% spirulina, 8% date flour and 1% spirulina, and 9% date flour and 1% spirulina. Furthermore, physicochemical analyses show that increasing the proportions of date flour and spirulina leads to a significant decrease in pH, moisture, and viscosity. However, ash and lipid content increase. Therefore, the addition of spirulina and date flour has a significant effect on the physicochemical and organoleptic quality of the mixed puree.

Key words: spirulina, date flour, potatoes purees, incorporation.

الملخص

إن دمج الطحالب (السبيرولينا) في هريس البطاطس المحلى طبيعياً بدقيق التمر هو طريقة مبتكرة لتحسين القيمة الغذائية لهذا المنتج. هدف هذا العمل هو تقييم تأثير دمج السبيرولينا ودقيق التمر على الجودة الفيزيائية والكيميائية والحسية للهريس المختلط. لتحقيق ذلك، تم استخدام تحاليل حسية لتحديد أفضل تركيبات الهريس المختلط. كما تم إجراء عدة تحاليل فيزيائية وكيميائية لاختبار تأثير دمج دقيق التمر والسبيرولينا على الجودة الفيزيائية والكيميائية للهريس المختلط. تظهر التحاليل الحسية أن المتذوقين فضلوا تركيبات هريس البطاطس التي تحتوي على 7% من دقيق التمر و3% من السبيرولينا، و8% من دقيق التمر و1% من السبيرولينا، و9% من دقيق التمر و1% من السبيرولينا. علاوة على ذلك، تظهر التحاليل الفيزيائية والكيميائية أن زيادة نسب دقيق التمر والسبيرولينا تؤدي إلى انخفاض كبير في مستوى الحموضة والرطوبة واللزوجة. ومع ذلك، يزداد محتوى الرماد والدهون. لذلك، فإن إضافة السبيرولينا ودقيق التمر له تأثير كبير على الجودة الفيزيائية والكيميائية والحسية للهريس المختلط.

الكلمات المفتاحية: سبيرولينا، طحين التمر، البطاطس المهروسة، دمج.

Introduction générale

Les algues sont des organismes vivants capables de réaliser la photosynthèse avec la production d'oxygène. Elles constituent une part très importante de la biodiversité et la base principale des chaînes alimentaires des eaux douces, saumâtres et marines. Diverses espèces sont utilisées pour l'alimentation humaine, parmi elles, il existe la spiruline. Cette algue bleu-vert se caractérise par leur teneur élevée en protéines, pouvant dépasser 60 % du poids sec des algues (**Abdallah et al., 2020**), ainsi que par leur teneur en glucides d'environ 25 %, en minéraux d'environ 13 %, en matières grasses de 1,6 % et en fibres de 0,73 %. La spiruline est caractérisée par sa facilité de culture, sa haute productivité, son faible coût de production et ses qualités nutritionnelles incontestables (**Sall et al., 1999**).

Actuellement, la consommation et l'acquisition de protéines d'origine animale entraînent divers problèmes environnementaux, tels que l'épuisement des ressources en eau et en sol, ainsi que les émissions de gaz à effet de serre provenant des exploitations d'élevage intensif. Ces émissions contribuent au phénomène du réchauffement climatique, induisant des changements climatiques qui affectent l'environnement et les humains (**Shahid, 2023**). Beaucoup d'approches ont été proposées pour résoudre cette problématique, parmi elles, la diminution de la consommation des protéines animales et les substituer par des autres sources telles que les protéines algales.

La spiruline, *Spirulina platensis*, est très riche en protéines, elle peut être intégrée à divers produits alimentaires : trida, mayonnaise, pâtes complètes, nouilles, kéfir, nectar (**Azzouz et al., 2023 ; Mahmoudi et al., 2023 ; Oliveira et al., 2023 ; Aljobair et al., 2021 ; Ramirez et al., 2021 ; Sozeri et al., 2021 ; Riyad et al., 2020 ; Ozyurt et al., 2015 ; Pagnusatt et al., 2014**). Elle peut être notamment incorporée à la purée de pommes de terre qui est largement consommée dans le monde, et en particulier par les enfants et les personnes âgées, en raison de sa facilité de consommation et de sa valeur énergétique. Pour répondre aux préférences gustatives sucrées des enfants et des personnes âgées et pour des raisons sanitaires, le sucre blanc peut être substitué par la farine de dattes.

Malgré la richesse en nutriments nutritionnels et en molécules bioactives de la Spiruline, sa consommation et son utilisation demeurent insuffisantes, notamment à l'échelle industrielle. Dans ce contexte général, l'objectif de notre étude est d'évaluer l'effet de l'incorporation de la spiruline dans les purées mixtes de pommes de terre naturellement sucrées par la farine de

dattes, et de déterminer son impact sur la qualité physico-chimique et organoleptique de ce produit.

Notre travail sera subdivisé en deux grandes parties :

- ✓ La première partie comprend une synthèse bibliographique portant sur les algues, notamment la Spiruline, ainsi que sur la purée.
- ✓ La seconde partie est dédiée à la partie expérimentale de notre étude. Elle englobe la description du matériel utilisé, les différentes méthodes mises en œuvre, les résultats obtenus et leur interprétation.

PREMIERE PARTIE
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 01
Purée de pomme de terre

La purée de pomme de terre est un plat qui trouve ses origines en Europe, bien que les pommes de terre elles-mêmes soient originaires d'Amérique du Sud. Introduites en Europe au XVI^e siècle par les explorateurs espagnols, les pommes de terre ont rapidement été adoptées comme une culture de base en raison de leur rendement élevé et de leur valeur nutritive (**Dupont, 2003**).

1. Définition de purée de pomme de terre

La purée de pomme est un accompagnement populaire et réconfortant, fait à partir de pommes de terre cuites et écrasées, généralement mélangées avec du lait, de la crème, du beurre. Elle se caractérise par sa texture crémeuse et homogène, et est souvent utilisée comme accompagnement dans de nombreux plats (**Smith, et al., 2019**).

2. Classification de purée de pomme de terre

2.1. Purée maison

La purée maison est préparée à partir de pommes de terre fraîches, épluchées, découpées en morceaux et bouillies jusqu'à ce qu'elles soient tendres. Elles sont ensuite écrasées manuellement à l'aide d'un presse-purée, d'un moulin à légumes ou d'une simple fourchette. La purée maison est souvent enrichie avec des ingrédients tels que du beurre, du lait ou de la crème pour obtenir une texture crémeuse et un goût riche. Les assaisonnements peuvent inclure du sel, du poivre, de l'ail ou des herbes aromatiques selon les préférences individuelles (**Smith, et al., 2019**).

2.2. Purée industrielle

La purée industrielle est produite à grande échelle dans des usines de transformation alimentaire. Elle peut être fabriquée à partir de pommes de terre fraîches ou de flocons de pomme de terre déshydratés. Les processus industriels incluent la cuisson, l'écrasement et l'emballage sous des conditions strictes de contrôle de qualité et d'hygiène. La purée industrielle est utilisée dans divers produits alimentaires transformés. Elle est conçue pour avoir une consistance uniforme et une longue durée de conservation (**Anderson et Roberts, 2020**).

2.3. Purée déshydratée

La purée déshydratée est obtenue par déshydratation de la purée de pomme de terre cuite, éliminant ainsi l'humidité pour prolonger sa conservation. Elle est disponible sous forme de flocons ou de poudre et doit être reconstituée avec de l'eau ou du lait avant consommation. Cette forme de purée est particulièrement appréciée pour sa commodité et sa facilité de préparation

rapide, notamment dans les environnements où le stockage et le transport des pommes de terre fraîches posent problème. La purée déshydratée est couramment utilisée dans les préparations de secours, les applications industrielles alimentaires (Taylor, *et al.*, 2021).

3. Qualité de la purée de pomme de terre

La qualité de la purée de pomme de terre peut être évaluée en termes d'aspect, de qualité culinaire, de qualité hygiénique et de qualité nutritionnelle (Johnson, *et al.*, 2022).

3.1. Aspect de la purée de pomme de terre

L'aspect de la purée de pomme de terre inclut des critères tels que la couleur, la texture et l'uniformité. Une bonne purée doit avoir une couleur homogène, sans grumeaux, et une consistance lisse et crémeuse (Evans et White, 2021).

3.2. Qualité culinaire

La qualité culinaire de la purée de pomme de terre est déterminée par sa saveur, son onctuosité et sa capacité à se combiner harmonieusement avec d'autres plats. L'ajout de beurre et de crème peut améliorer la saveur et la texture, augmentant ainsi la palatabilité du plat (Taylor, *et al.*, 2021).

3.3. Qualité hygiénique

La qualité hygiénique de la purée de pomme de terre concerne les conditions de préparation, les procédures de manipulation et de stockage. Le respect des normes sanitaires strictes est essentiel pour prévenir la contamination et assurer la sécurité alimentaire (Anderson et Roberts, 2020).

3.4. Qualité nutritionnelle

La qualité nutritionnelle de la purée de pomme de terre dépend de la conservation des vitamines et des minéraux lors de la cuisson et de la préparation. Les pommes de terre sont une source importante de vitamine C, de potassium et de fibres, et l'ajout de produits laitiers peut enrichir le contenu nutritionnel en calcium et en graisses (Smith, *et al.*, 2019).

4. Conservation de la purée de pomme de terre

C'est un processus délicat qui nécessite une attention particulière aux conditions de stockage pour prévenir la détérioration et le développement de micro-organismes.

4.1. Réfrigération

La purée de pomme de terre doit être réfrigérée à une température de 4°C ou moins pour ralentir la croissance des bactéries. Il est recommandé de la conserver dans un récipient hermétique pour éviter l'exposition à l'air, ce qui peut entraîner une oxydation et un changement de goût. La purée peut être conservée dans ces conditions pendant 3 à 5 jours (**Andress et Judy, 2004**).

4.2. Congélation

Pour une conservation plus longue, la purée de pomme de terre peut être congelée. Avant la congélation, il est conseillé de laisser refroidir la purée à température ambiante. Ensuite, elle doit être transférée dans des sacs de congélation ou des contenants hermétiques, en retirant autant d'air que possible pour prévenir les brûlures de congélation. La purée de pommes de terre peut être conservée congelée pendant environ 10 à 12 mois (**Andress et Judy, 2004**).

4.3. Utilisation d'agents conservateurs

Dans un contexte industriel, des agents conservateurs tels que les antioxydants et les stabilisants peuvent être ajoutés à la purée de pomme de terre pour prolonger sa durée de conservation. Les conservateurs couramment utilisés incluent l'acide ascorbique (vitamine C) et les phosphates, qui aident à prévenir la dégradation enzymatique et la croissance microbienne (**James et al, 2005**).

4.4. Atmosphère modifiée

Une autre méthode de conservation consiste à utiliser un emballage sous atmosphère modifiée, où l'air dans l'emballage est remplacé par un mélange de gaz inertes comme l'azote et le dioxyde de carbone. Cela réduit la disponibilité de l'oxygène, ce qui limite la croissance des bactéries aérobies et prolonge la durée de conservation du produit (**Parry, 1993**).

Ces techniques permettent de maintenir la qualité et la sécurité de la purée de pomme de terre sur une période prolongée, tout en conservant ses propriétés organoleptiques et nutritives.

5. Consommation de purée de pomme de terre dans le monde

La consommation de purée de pomme de terre varie globalement, avec une forte popularité en Amérique du Nord et en Europe, où elle est un élément de base dans de nombreux repas. En Asie et en Afrique, la purée de pomme de terre est moins courante, mais son utilisation augmente en raison de la mondialisation et des changements alimentaires (**Johnson, et al., 2022**).

Chapitre 02

Algues

Les algues, des organismes végétaux chlorophylliens principalement présents dans les milieux aquatiques, sont reconnues depuis le début du 20^e siècle (**Ainane, 2011**). Elles jouent un rôle crucial en tant que premier maillon de la chaîne alimentaire et sont une ressource naturelle précieuse pour divers secteurs tels que l'alimentation, l'agriculture, l'industrie, la médecine et la pharmacie (**Nisizawa, 1987 ; Ollier, 2017**).

Bien que la consommation d'algues soit croissante à l'échelle mondiale, elle demeure relativement marginale. Leur utilisation varie de leurs qualités nutritionnelles à leur potentiel nuisible pour l'environnement.

Le marché des compléments alimentaires, en particulier, suscite un intérêt financier considérable, avec une concurrence intense entre les fabricants. La promotion de produits contenant des algues peut être orientée vers leur caractère naturel, bien que la réglementation stricte limite les allégations de santé. Certaines espèces d'algues sont plus prisées que d'autres pour leur utilisation dans les compléments alimentaires (**Ollier, 2017**).

1. Définition des algues

Les algues sont un groupe de végétaux photosynthétiques variés, dépourvus de tiges, racines, feuilles ou fleurs, caractérisés par leur appareil végétatif simple appelé “thalle” (**Guillaume, 2010**).

Elles sont principalement présentes dans les milieux aquatiques, qu'il s'agisse d'eaux douces, marines, de neige ou de glace dans les régions polaires et les hautes montagnes, voire dans les eaux des sources thermales à températures élevées (algues thermophiles) (**Komprobst, 2005**).

Leur taille varie de moins d'un micromètre (par exemple, *Prochlorococcus* (0,5µm) à plusieurs dizaines de mètres (par exemple, *Macrocystis* (60 m) (**Leclerc, 2010**).

2. Caractères généraux des algues

Les algues sont des végétaux caractérisés par l'absence de feuilles, de tiges et de racines, avec leur corps constitué d'un thalle, ce qui leur vaut le nom de thallophytes. Leur mode de reproduction ne donne jamais de fruits, de graines ou de fleurs, les classant ainsi parmi les cryptogames. Actuellement, des milliers d'espèces sont connues, principalement présentes dans les milieux aquatiques, bien que quelques-unes puissent survivre en milieu terrestre. Toutes les algues effectuent la photosynthèse et contiennent de la chlorophylle, mais la couleur du thalle

peut varier en fonction d'un pigment spécifique associé à la division de l'algue (**Morris, Lewin 1967-1974**).

3. Grands groupes des algues

De manière générale, les algues peuvent être classées en quatre groupes distincts : les algues vertes, les algues bleues, les algues rouges et les algues brunes, caractérisées par leur couleur.

Chaque groupe comprend différentes classes, et chaque classe abrite un grand nombre d'espèces différentes (**Sandrine, 2004**).

3.1. Algues vertes (Chlorophycées)

Les Chlorophycées, également connues sous le nom d'algues vertes, représentent la classe la plus significative en termes de nombre d'espèces. Environ 7 000 espèces sont actuellement répertoriées, dont environ un millier se trouvent dans des environnements marins. En raison de leur capacité photosynthétique, de nombreuses espèces de Chlorophycées peuvent survivre à des profondeurs inférieures à 5 mètres. Ces algues jouent un rôle crucial dans le processus d'oxygénation des milieux aquatiques. Elles présentent une grande diversité de formes, qu'elles soient unicellulaires ou multicellulaires. La majorité des algues vertes se trouvent dans des environnements d'eau douce ou marins, bien que certaines espèces puissent également proliférer sur terre (**Pérez, 1997**).



Figure 01 : *Ulva lactuca* (algue verte).

3.2. Algues bleues (Cyanobactéries)

Les cyanobactéries, également connues sous le nom d'algues bleues, se présentent sous forme de colonies aux dimensions, formes et couleurs variables. Similaires aux algues rouges, elles contiennent des pigments supplémentaires bleus (phycocyanines) et rouges (phycoérythrine), qui masquent la chlorophylle a. Contrairement à leur appellation ancienne " d'algues bleues", elles sont rarement de couleur bleue, mais plus fréquemment de teinte rouge, verte avec des nuances de bleu, violet, brun, jaune ou orangé. La plupart de ces organismes présentent une texture gélatineuse voire visqueuse en raison des mucilages qu'ils sécrètent (**Garron-Lardiere, 2004**).



Figure 02 : Photo d'algue bleue.

3.3. Algues rouges (Rhodophycées)

Les Rhodophycées, également connues sous le nom d'algues rouges, tirent leur coloration rosâtre des plastes de ces algues grâce à l'association de la phycoérythrine avec d'autres pigments chlorophylliens (**Pérez, 1997**). Principalement présentes dans les milieux marins, les Rhodophycées sont des organismes macroscopiques et pluricellulaires. Elles regroupent environ 4 000 espèces réparties entre deux groupes :

- **les Bangiophycidées**, qui représentent des formes primitives, microscopiques et unicellulaires, à l'exception du genre *Porphyra*, qui est une algue macroscopique.
- **les Floridéophycidées**, qui se présentent sous forme macroscopique et pluricellulaire et sont donc considérées comme plus évoluées (**Morris et Lewin, 1967-1974**).



Figure 03 : Photo d'algue rouge.

3.4. Algues brunes (Phéophycées)

Les phéophycées, également connues sous le nom d'algues brunes, la couleur brune observée chez ces algues provient de la prédominance des pigments xanthophylle et fucoxanthine, qui masquent d'autres pigments tels que la chlorophylle et le bêta-carotène. Bien que toutes les algues brunes présentent une structure multicellulaire, leur taille peut varier, allant de microscopiques à de gros spécimens. La majorité des algues brunes sont des organismes marins (**Garon-Lardiere, 2004**).



Figure 04 : Photo d'algue brune.

4. Composition biochimique des algues

Les algues sont une importante source de fibres, représentant entre 33 % et 61 % de leur composition, et elles possèdent une variété de structures primitives qui les distinguent des fibres des plantes terrestres (**Lahaye, 1991**).

En général, les algues sont composées à 80 % d'eau, avec une teneur réduite à seulement 10 à 20 % une fois séchées. Leur composition comprend principalement des glucides (80 % à 90 %), des protéines, des minéraux, des vitamines et une faible quantité de matières grasses, environ 1 % à 2 % (**Cayla, 1995**).

- **Protéines** : présentent une variabilité significative, allant d'environ 4 % à 44 %, selon la variété, la saison et d'autres facteurs. Certaines variétés telles que *Porphyra*, *Enteromorpha*, *Ulva* et *Spirulina* sont connues pour leur teneur plus élevée en protéines (**Cayla, 1995**).
- **Lipides** : Les algues sont caractérisées par une faible teneur en lipides, principalement constitués d'acides gras insaturés, notamment l'acide oléique (**Cayla, 1995**).
- **Glucides** : prédominants chez les algues sont le mannitol chez les Fucophcées et le sorbitol chez les Rhodobiontes. Le mannitol, présent sous forme de poudre blanche à la surface de certaines espèces telles que *Laminaria*, agit comme un stimulant hépatique avec un effet laxatif léger. Le sorbitol, un sucre très sucré, est utilisé dans l'alimentation, notamment chez les diabétiques (**Cayla, 1995**).
- **Minéraux et les oligoéléments** : En ce qui concerne les minéraux et les oligoéléments, les algues sont riches en aluminium, chlore, iode, phosphore, plomb, etc (**Cayla, 1995**).
- **Vitamines** : Elles renferment également un large éventail de vitamines telles que B1, B2, B3, B6, C, E, K et la vitamine B12, cette dernière étant exclusive aux algues parmi les plantes, étant donné son origine animale (**Cayla, 1995**).
- **Polysaccharides** : qui comprennent l'amidon et la cellulose, sont également présents dans la composition des algues (**Cayla, 1995**).

5. Conditions de vie

Les conditions de vie des algues sont déterminées principalement par la disponibilité de lumière et d'humidité. Elles sont capables de se développer dans une grande diversité d'environnements, allant des océans aux déserts, en passant par les lacs, les rivières, les grottes, les glaciers et même les lacs acides. Leur capacité à prospérer dans des milieux extrêmes est attribuée à leurs caractéristiques morphologiques particulières et à leur capacité à synthétiser

différents métabolites secondaires. Comme toutes les plantes, les algues ont besoin de lumière pour effectuer la photosynthèse, et leur présence peut être observée jusqu'à une profondeur de 200 mètres, en fonction de la clarté de l'eau et de la composition des pigments qui les rendent sensibles aux différentes longueurs d'onde de la lumière (**Guilherme et al., 2006**).

6. Utilisations des algues

Les algues ont été et continuent d'être employées dans divers domaines (**Tarik, 2011**).

- ❖ Elles sont utilisées dans **l'industrie agroalimentaire** en tant qu'agents épaississants, stabilisants, émulsifiants et excipients, grâce à leurs composants tels que les alginates et la gélose.
- ❖ **En dentisterie**, elles servent à la fabrication de pâtes pour les empreintes dentaires.
- ❖ Dans **le domaine de l'agriculture**, les algues sont utilisées comme amendement ou engrais.
- ❖ **En pharmacie**, leurs propriétés anticoagulantes, laxatives et vermifuges sont exploitées.
- ❖ Dans **l'industrie chimique**, les frustules siliceux des algues sont utilisés comme isolants phoniques ou thermiques.
- ❖ **En médecine**, les stipes laminaires sont employés en gynécologie et en chirurgie pour dilater une voie naturelle ou débrider une plaie.

Chapitre 03
Spiruline

Les cyanobactéries, autrefois désignées sous le nom d'algues bleues, sont des organismes bactériens capables de la photosynthèse et produisant de l'oxygène. Elles présentent une grande diversité morphologique, pouvant être unicellulaires ou filamenteuses, et se regroupant en colonies ou adoptant des formes solitaires. Le genre *Arthrospira* englobe des cyanobactéries filamenteuses, parmi lesquelles se trouve *Arthrospira platensis*, communément appelée Spiruline. Cette dernière est reconnue pour sa richesse en nutriments tels que les protéines, les glucides, les lipides, les vitamines et les minéraux, et est consommée depuis des siècles par certaines populations d'Afrique et d'Amérique (**Sguera, 2008**).

1. Définition de la spiruline

La Spiruline est une cyanobactérie, un micro-organisme procaryote de couleur bleu-vert. Comme les plantes, elle est capable d'utiliser l'énergie lumineuse pour effectuer la photosynthèse et produire de l'oxygène (**Jung et al., 2019**). La plupart des spirulines se développent dans les régions tropicales et subtropicales, dans des eaux chaudes, alcalines, fortement minéralisées, riches en carbonates et bicarbonates, et présentant des niveaux relativement élevés de pH et de 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

Des traces de cyanobactéries ont été précédemment identifiées dans des stromatolithes, des formations rocheuses constituées de filaments d'algues fossilisés dans du calcaire, datant d'environ 3,7 milliards d'années en Afrique du Sud (**Perez, 1997**).

La redécouverte de la spiruline s'est produite en 1940 au Tchad par le botaniste français Dangeard. Les Kanembous, une tribu du Tchad, la consomment encore aujourd'hui sous le nom de Dihé.

Des archives mexicaines révèlent que les Aztèques consommaient également de la spiruline, connue sous le nom de Tecuitlatl, bien avant l'arrivée des Espagnols (**Farrar, 1966**).

Depuis l'établissement de la culture en masse des micros algues à la fin des années 1950, la Spiruline a gagné en popularité en tant qu'alimentation humaine. En 1995, il existait une

vingtaine d'exploitations industrielles dans le monde, et aujourd'hui, leur nombre avoisine la trentaine (Fox, 1999).

La première culture artisanale de spiruline, dignement nommée, est généralement attribuée à FOX Ripley, qui a lancé cette activité en Inde en 1973.

3. Morphologie

La spiruline présente une morphologie hautement variable, influencée par la souche spécifique et les conditions de culture environnantes. Elle est constituée de cellules végétatives agencées en filaments ou trichomes, avec des parois clairement visibles. La principale caractéristique morphologique du genre réside dans l'arrangement de ces trichomes. Enveloppés d'une fine gaine, ils peuvent présenter des réductions variables aux parois, ne pas se ramifier, avoir un diamètre d'environ 10 à 12 μm et une longueur moyenne de 250 μm lorsqu'ils possèdent sept spires. Les trichomes flottent librement et manifestent une motilité glissante (Charpy *et al.*, 2008).

Les facteurs environnementaux, notamment la température, les conditions physiques et le milieu de culture, peuvent influencer la géométrie de l'hélice, entraînant ainsi une grande variété morphologique chez cette cyanobactérie :

- **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).

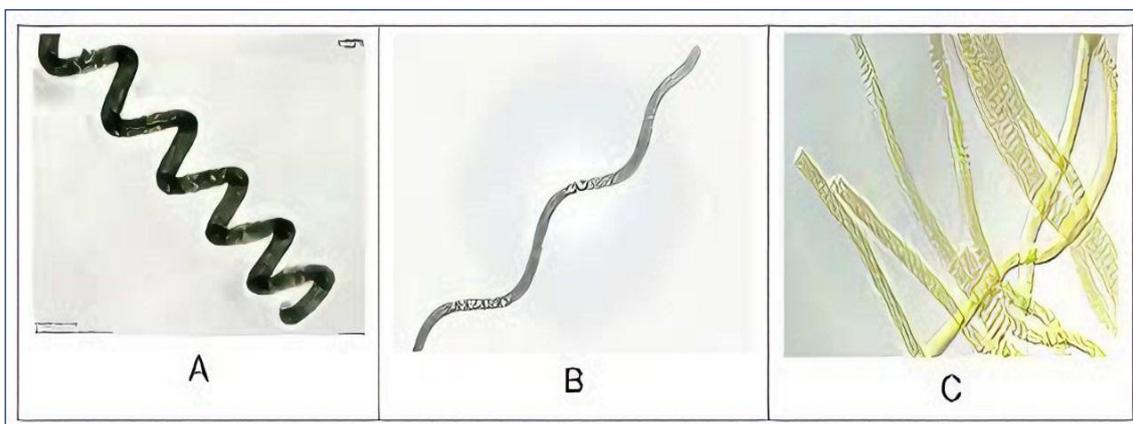


Figure 05 : Différents aspects de la spiruline. (A) spiralés, (B) ondulée, (C) droite. (Goulamabasse, 2018).

➤ **Algue ou bactérie ?**

La Spiruline est une cyanobactérie procaryote à gram négatif. Bien que les cyanobactéries soient des organismes autotrophes capables d'utiliser l'énergie lumineuse pour la photosynthèse (Roger, 2006), elles partagent des caractéristiques communes présentées dans le tableau ci-dessous (Bernard, 2014).

Tableau 01 : Caractéristiques communes des cyanobactéries aux algues et aux bactéries.

Algues	Bactéries
Chlorophylle a	Absence de membrane nucléaire
Deux photosystèmes I et II	Absence de membrane plastidiale
Photosynthèse : production d'O ₂	Absence de mitochondries
Pigment	Absence de réticulum endoplasmiques et dictyosome, paroi cellulaire gram négative : muréine.
S photosynthétiques : phycobiliprotéines	
Eau : donneur d'électrons.	

4. Taxonomie

La Spiruline était à l'origine considérée comme une algue. Cependant, en 1960 une claire distinction entre procaryote et eucaryote a été définie, basée sur la différence d'organisation cellulaire : les procaryotes regroupent les organismes dépourvus de compartiment cellulaire tandis que les eucaryotes regroupent ceux qui possèdent des organelles c'est à dire des nucléoles et des mitochondries (Durand-Chastel, 1993). En 1962, Stanier et Van Niel constataient que cette algue bleue verte était dépourvue de compartiments cellulaires, et donc faisait partie des procaryotes ; ils proposaient de désigner ce microorganisme « Cyanobactérie » ; ils proposaient de désigner ce microorganisme « Cyanobactérie ».

On la classe selon Ripley Fox (1999) dans :

- **Règne** : Monera.
- **Sous règne** : Prokariota.
- **Phylum** : Cyanophyta.
- **Classe** : Cyanophyceae.
- **Ordre** : Nostocles (ou oscillatoriales).
- **Famille** : Oscillatoriaceae.

- **Genre** : Arthrospira.
- **Espèce** : Spirulina platensis var toliarensis.
- **Nom commun** : Spiruline, Spirulina.

5. Cycle biologique de reproduction

Le mode de reproduction de cet organisme est la bipartition par scission simple, une forme de reproduction asexuée impliquant la segmentation des filaments. Ce processus doit être distingué de la mitose, qui se produit uniquement chez les Eucaryotes (**Cruchot, 2008**).

Sa multiplication s'accélère considérablement lorsque la température dépasse 30 °C à l'ombre. En présence de conditions favorables, le temps de génération est très court, environ 7 heures (**Jourdan, 1996 ; Zarrouk, 1966**).

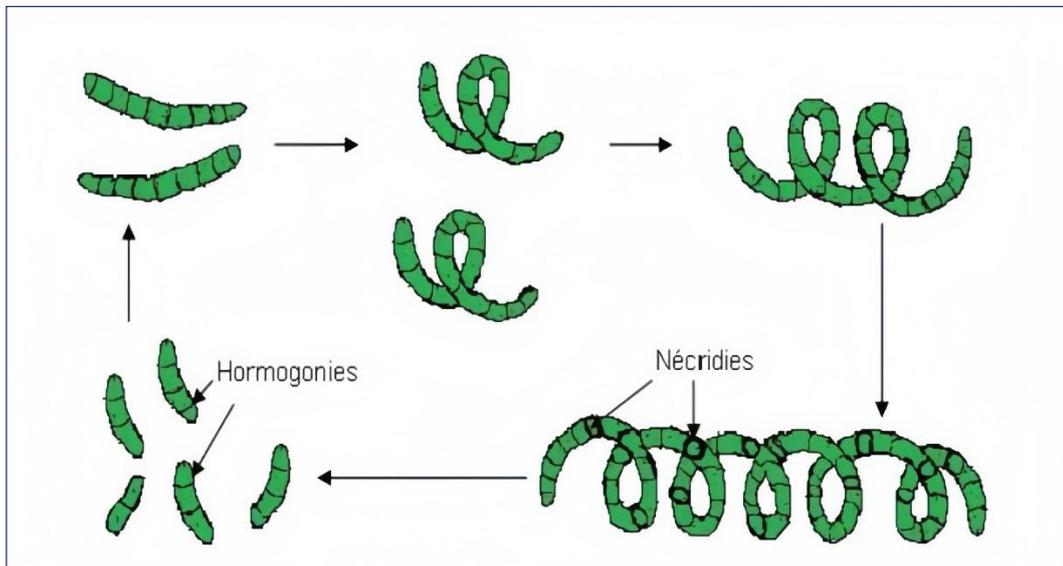


Figure 06 : Cycle biologique de la spiruline (**Charpy et al., 2008**).

La Spiruline est constituée de cellules transparentes alignées bout à bout pour former un filament ou trichome enroulé en hélice. Ce trichome tourne dans un sens déterminé, dans le sens des aiguilles d'une montre lorsqu'on le regarde de haut en bas (**Jourdan, 1999**). Selon (**Balloni et al., 1980**), le cycle biologique de la Spiruline se déroule comme suit (voir figure 06) un filament mature produit des cellules spéciales appelées nécries, qui sont des disques de séparation biconcaves. À ce stade, le trichome se fragmente au niveau de ces cellules pour donner naissance à de nouveaux individus sous forme de courtes chaînes (2 à 4 cellules) appelées hormogènes. Les hormogènes croissent en longueur par division binaire des cellules et adoptent la forme caractéristique hélicoïdale.

6. Biotope et répartition géographique d'*Arthrospira platensis*

Elle se développe principalement dans des eaux chaudes, alcalines et riches en nutriments azotés et phosphorés. Cependant, elle peut également se développer dans des eaux saumâtres ainsi que dans les lacs salés des régions tropicales et semi-tropicales (Castenholz *et al.*, 2001), ce qui restreint sa répartition à une bande intertropicale située approximativement entre 35° de latitude nord et 35° de latitude sud.

Tableau 02 : Distribution géographique naturelle d'*Arthrospira platensis* (vidalo, 2008).

Continents	Pays
Afrique	Tchad, région du Kanem, Kenya, lacs natron, Nakuru, Elmenteita, Tanzanie, lac Natron, Soudan, Djebel Marra, Djibouti, Lac Abber, Ethiopie , Lacs Aranguadi , Rodolphe, Chili, Nakourou, Congo, Mougounga, Zambie, Lac Bangweulu, Algérie Tamanrasset, Tunisie, Lac de Tunis, Chott el Djérid, Madagascar, Tuléar.
Asie	Inde, Lac Nagpur, Madurai, Lac Lonar, Thaïlande, Radburi, Myanmar, Lacs Taywn Taung, Taywan Ma, Pakistan, Lahore, Siri Lanka, Lac Beira, Chine, Guang zhou, Dongguang Dong, Shenzhen, Azerbaïdjan, Woronichin.
Amérique du sud	Pérou, Lacs Huacachina, Orovilca, Paracas, Mexique, Lacs Texcoco, Cratère, Uruguay, Montevideo, Equateur, Lac Quiliotoa.
Amérique du Nord	Désert de Californie, Oakland, Del Mar Beach, Haïti, Lac Gonve, République Dominicaine, Lac Enriquillo.
Europe	France, Camargue, corse, Espagne, Baléares.

7. Composition et valeur nutritionnelle

7.1. Protéines

La spiruline est composée principalement de protéines, représentant entre 60 et 70 % de sa composition, avec également 15 % de glucides, 6 % de lipides, 7 % de minéraux, et de 3 à 6% d'eau (figure 07) (Niangoren, 2017).

Les protéines de la Spiruline sont reconnues comme son principal atout en raison de leur richesse. Cependant, cette composition peut varier en fonction des conditions de culture, de la période de récolte, de l'origine géographique et d'autres paramètres (Niangoren, 2017).

D'un point de vue qualitatif, les protéines de la spiruline sont complètes, ce qui signifie qu'elles contiennent tous les acides aminés essentiels (Jourdan, 2006 ; Gutierrez *et al.*, 2015).

De plus, elles sont hautement bio assimilables, ce qui signifie que le corps peut utiliser, presque toutes les protéines disponibles. Cela contribue à la richesse nutritionnelle de cette micro algue (Barth et Léo, 2019).

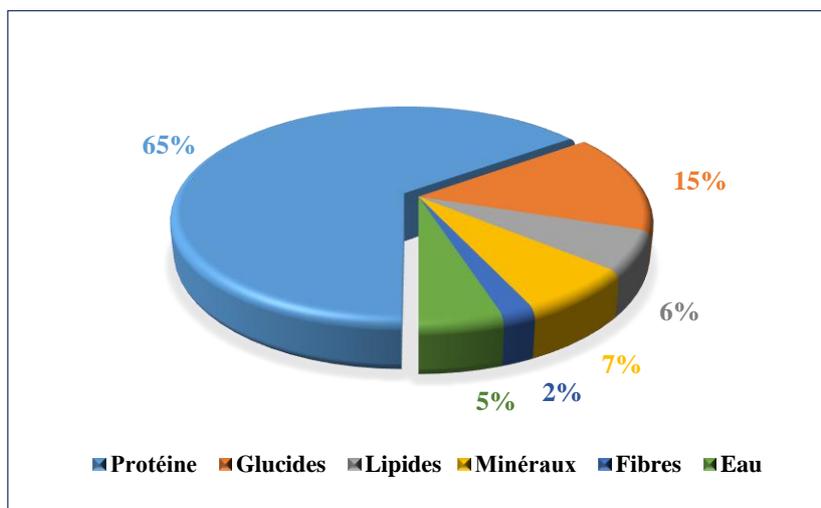


Figure 07 : Composition chimique de la spiruline (Lecointre, 2017).

7.2. Glucides

Les glucides constituant environ 15 % de la Spiruline sèche se présentent principalement sous forme de glycogène et de rhamnose. Des quantités négligeables de glucose, de fructose, de saccharose, ainsi que quelques polyols tels que le glycérol, le mannitol et le sorbitol sont également présents (Niangoran, 2017).

7.3. Lipides

Les lipides de la spiruline, représentant environ 5 à 6 % de son poids total, démontrent un équilibre optimal entre les acides gras oméga-3 et oméga-6, favorisant ainsi la santé cardiovasculaire (Sall *et al.*, 1999).

Cette composition lipidique est particulièrement bénéfique en raison de la présence significative d'acide α -linoléinique et d'acide γ -linoléinique, constituants majeurs des acides gras essentiels de la spiruline (Michka, 2005).

7.4. Minéraux

En ce qui concerne les minéraux, la spiruline est riche en divers micronutriments, notamment des minéraux, des vitamines et des pigments aux propriétés antioxydantes marquées (Lecointre, 2017).

Parmi les minéraux particulièrement intéressants présents dans la Spiruline figurent le fer, le zinc, le magnésium, le calcium, le phosphore et le potassium (Dansou, 2002).

La concentration élevée en fer de la spiruline, un minéral principalement présent dans les aliments d'origine animale tels que la viande, les abats et le poisson, en fait un choix attractif pour les végétariens, les sportifs, les femmes enceintes et les adolescents en période de croissance (Michka, 2005).

Tableau 03 : 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
Sodium	450	500
Potassium	640-1540	3500
Sélénium	0.001-5*	0,5

7.5. Vitamines

La spiruline est une source riche en vitamines, notamment celles du groupe B telles que les vitamines B1, B2 et B12, qui jouent un rôle crucial dans le métabolisme énergétique, le fonctionnement du système nerveux et immunitaire, ainsi que dans la reproduction cellulaire.

De plus, la spiruline contient du β -carotène, précurseur de la vitamine A, indispensable pour la vision et le bon fonctionnement du système immunitaire (**Miranda, 1998**).

La vitamine B12, particulièrement abondante dans la spiruline, est essentielle dans les régimes sans viande, étant donné que peu de végétaux courants en contiennent. En fait, la spiruline est réputée être quatre fois plus riche en vitamine B12 que le foie cru, traditionnellement considéré comme une excellente source de cette vitamine (**Jourdan, 2006**).

7.6. Enzymes

La spiruline renferme également une variété d'enzymes, dont le superoxyde dismutase (SOD), qui joue un rôle majeur dans la protection contre l'oxydation et le vieillissement cellulaire (**Ahounou, 2018**).

7.7. Pigments

Quant aux pigments, les principaux responsables de la couleur de la spiruline sont la chlorophylle, la phycocyanine et le β -carotène (**Sguera, 2008**).

7.7.1. Chlorophylle

La spiruline présente un taux de chlorophylle d'environ 1%, l'un des plus élevés dans la nature (**Ahounou, 2018**).

Sa structure, étroitement liée à celle de l'hémoglobine des mammifères, lui vaut parfois le surnom de « sang vert ». La chlorophylle confère à la spiruline sa couleur verte, dominante par son pouvoir colorant, malgré sa quantité moins importante que d'autres pigments. Des études ont montré que la chlorophylle contribue à rétablir l'équilibre acido-basique, améliore la fonction cardiaque, régule le transit intestinal, augmente le taux de globules rouges et favorise la cicatrisation (**Casal, 2019**).

7.7.2. Phycocyanine

Pigment bleu exceptionnel présent dans la spiruline, est le plus puissant antioxydant et anti radicalaire connu (**Sguera, 2008**). Responsable de la couleur bleutée de la spiruline, la phycocyanine stimule la formation des globules rouges, favorise l'activité musculaire, inhibe la croissance des cellules cancéreuses et détoxifie l'organisme (**Shmitz, 2014**).

8. Principales applications de la spiruline

8.1. En alimentation humaine

La Spiruline, en raison de son profil nutritionnel exceptionnel, offre plusieurs avantages. Elle est utilisée par des organisations humanitaires et des professionnels de la santé pour combattre la malnutrition en la mélangeant à des céréales ou de l'eau, ce qui s'avère plus efficace que les médicaments pour traiter les carences nutritionnelles sévères chez les enfants, telles que le marasme ou la kwashiorkor (Fox, 1999). Pour les sportifs, sa consommation facilite l'effort et favorise une meilleure récupération. En tant que source riche en vitamines B9 et B12 ainsi qu'en fer, la spiruline est adaptée aux femmes enceintes, favorisant l'accès à tous les nutriments essentiels et aidant à préparer l'accouchement grâce à la phycocyanine, qui améliore l'oxygénation des muscles et réduit les crampes utérines (Evoli, 2014).

Par sa composition, la spiruline convient également aux enfants, aux adolescents et aux bébés en âge de consommer des protéines. Ses éléments essentiels de haute qualité et sa bonne assimilation sont bénéfiques pour les organismes en croissance, fournissant suffisamment de nutriments pour éviter les carences et éliminer les toxines liées à la consommation de restauration rapide souvent appréciée par les adolescents. De plus, elle contribue à améliorer la qualité de la peau (Vidalo, 2015).

En agroalimentaire, la spiruline est employée comme colorant naturel, la phycocyanine étant l'un des rares pigments naturels bleus, utilisée dans les chewing-gums, les sorbets, les sucreries, les produits laitiers et les boissons non alcoolisées. Elle est également présente dans divers produits alimentaires contenant des algues mélangées à du sel, des tagliatelles, etc. En Suisse et au Japon, le pain à la spiruline est une tradition depuis longtemps (Boudaoud, 2016).

Tableau 04 : Produits alimentaires à base de spiruline.

Aliments	Références
Gâteau de nouille (0,1-10) de spiruline ajoutée à la farine	Brevet chinois (Xu, 1993)
Boisson de spiruline	Brevet chinois (Zeng et Liang, 1995)
Liquide alimentaire constitué de l'extrait de spiruline et de miel	(Jaouen et al, Liang et al., 2001)
Comprimés de spiruline	(Yamaguchi, 1997)

8.2. En alimentation animale

La Spiruline renforce les défenses naturelles de l'animal, stimule son système immunitaire, le protège contre certaines maladies et atténue les effets du vieillissement et de la fatigue. Elle est couramment utilisée chez les chevaux, notamment pendant les phases de croissance, de compétition ou de convalescence. Les éleveurs de volailles ajoutent également de la spiruline à l'alimentation de leurs animaux, ce qui améliore la qualité des œufs pondus (Casal, 2019).

8.3. En cosmétique

L'analyse quantitative et qualitative des composants de la spiruline révèle la présence d'actifs naturels tels que des acides aminés, des oligoéléments, des antioxydants, des minéraux, des vitamines, des acides nucléiques (constituants de l'ADN), des protéines et des acides gras essentiels. Certains laboratoires cosmétiques intègrent ces composants dans des crèmes, des shampooings ou des sérums (Banks, 2007).

Grâce à ses propriétés antioxydantes qui préviennent la formation de radicaux libres, la spiruline améliore la souplesse et l'élasticité de la peau, retardant ainsi son vieillissement.

De plus, elle renforce les ongles et les cheveux en leur apportant des nutriments et des oligo-éléments. Considérée comme un aliment « beauté » d'exception, la spiruline est désormais utilisée dans les soins anti-âge à base d'ingrédients marins, dans les produits de soins en spa et thalassothérapie (masques faciaux, enveloppements corporels), en tant que soin réparateur et fortifiant pour les cheveux et les ongles, ainsi que sous forme de cataplasme et d'enveloppement corporel, et en tant que soin revitalisant pour le corps ou masque minéralisant pour le visage (Casal, 2019).

Deuxième partie
Partie expérimentale

Chapitre 04
Matériel et méthodes

1. Présentation du lieu d'étude

Dans la partie expérimentale, les analyses organoleptiques ont été réalisées dans une salle pédagogique appropriée, dédiée aux analyses sensorielles, au niveau de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers au niveau de l'Université 8 mai 1945 Guelma. Tandis que, les analyses physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire pédagogique de contrôle de qualité de notre faculté. Par ailleurs, les analyses rhéologiques ont été réalisées au laboratoire de recherche des analyses industrielles et génie des matériaux LAIGM de l'Université 8 mai 1945 Guelma.



Figure 08 : Site géographique de laboratoire de contrôle de qualité.

2. Matière première

2.1. Pommes de terre

Dans cette étude, la variété des pommes de terre qui a été utilisée est Spunta. Elle est disponible sur le marché algérien et conditionnée dans des sacs en filet de 5 kg (Voir annexe 01). La conservation des pommes de terre a été effectuée à température ambiante dans un endroit sec. Tous les essais de cette étude ont été menés avec le même lot de pommes de terre.

2.2. Farine de dattes

Au niveau de cette étude, 300 g de farine de dattes ont été utilisés (Voir annexe 01), obtenus à partir de dattes séchées. La farine de dattes a été conservée, protégée de la lumière et de l'humidité, dans un environnement frais et sec, en utilisant un contenant hermétique.

2.3. Spiruline

La spiruline utilisée dans cette étude a été achetée auprès d'un laboratoire de contrôle qualité privé situé à Guelma. Elle était sous forme de poudre et conditionnée dans des sachets de 100 g (Voir annexe 1).

3. Fabrication de la purée mixte

Les principales étapes de fabrication la purée mixte ont été réalisées selon le diagramme suivant :

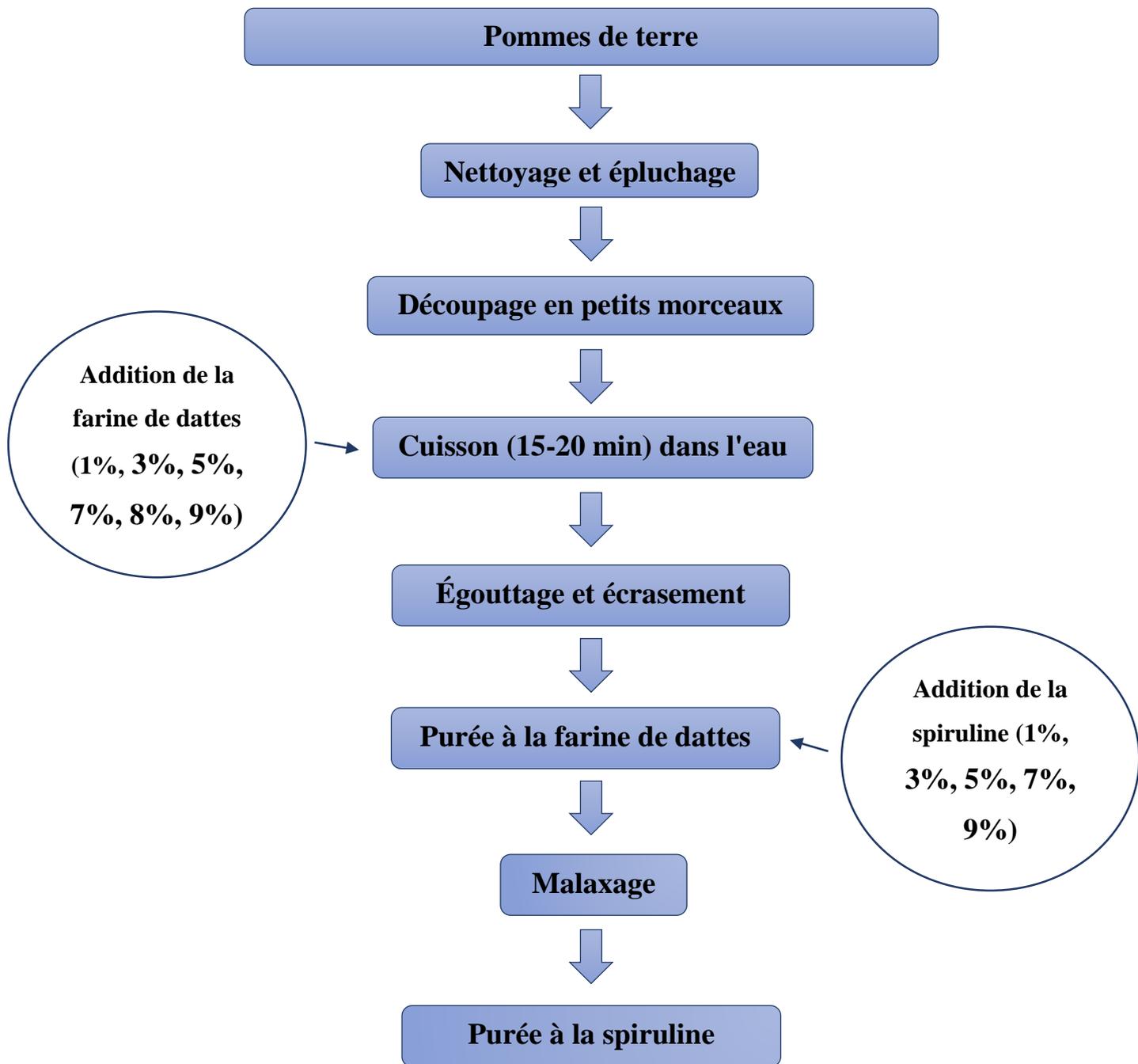


Figure 09 : Diagramme de fabrication de la purée mixte (Benhamla et Krichiem, 2024).

3.1. Nettoyage et épluchage

Les pommes de terre ont été préalablement nettoyées pour éliminer toute contamination ou impureté. Après leur nettoyage, elles ont été épluchées uniformément à l'aide d'un l'éplucheur (Figure 10).

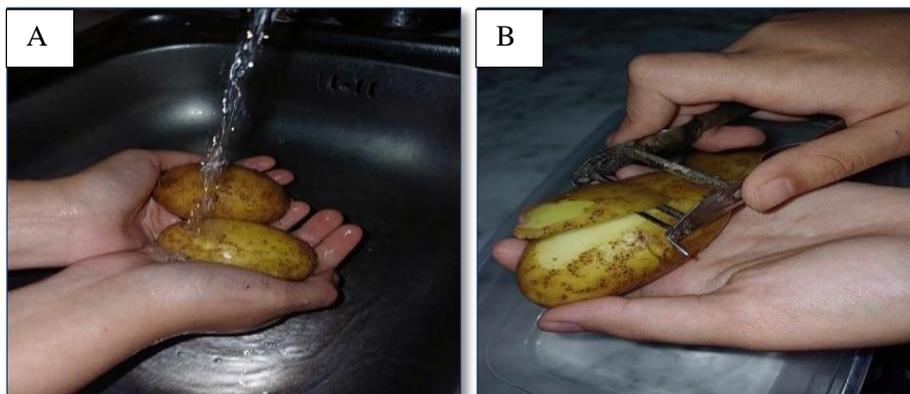


Figure 10 : Nettoyage de pommes de terre (A). Épluchage de pommes de terre (B) (Benhamla et Krichiem, 2024).

3.2. Découpage

Une fois que les pommes de terre ont été épluchées, elles ont été coupées en morceaux de taille égale à l'aide d'un couteau (Figure 11).



Figure 11 : Découpage de pommes de terre. (Benhamla et Krichiem, 2024).

3.3. Cuisson dans l'eau bouillante

Après avoir été préparées, les pommes de terre ont été immergées dans de l'eau bouillante (Figure 12).



Figure 12 : Cuisson dans l'eau bouillante (Benhamla et Krichiem, 2024).

3.4. Addition de farine de dattes

Afin de fabriquer une purée sucrée naturellement destinée aux personnes âgées et aux enfants, des proportions de farine de dattes (1 %, 3 %, 5 %, 7 %, 8 %, 9 %) ont été ajoutées lors de la cuisson des morceaux de pommes de terre dans l'eau bouillante (Figure 13).

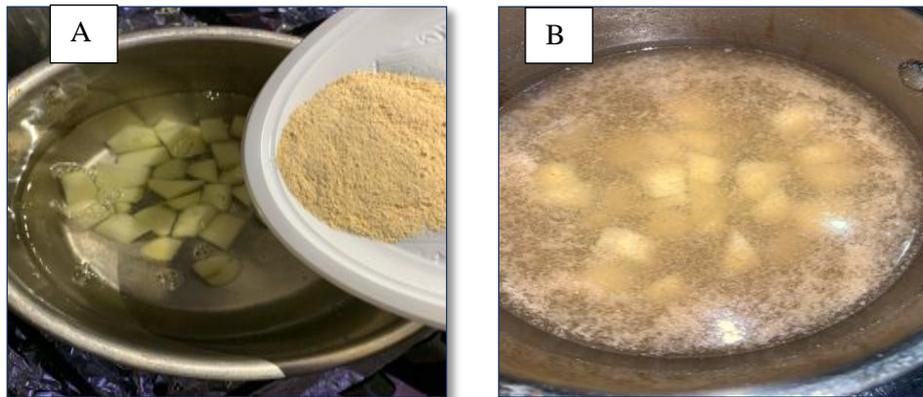


Figure 13 : Addition de la farine de dattes (A). Cuisson de pommes de terre avec la farine de dattes (B) (Benhamla et Krichiem, 2024).

3.5.Égouttage et écrasement

Après la cuisson optimal des pommes de terre ; elles ont été égouttées et écrasées avec un bras mixeur jusqu'à ce qu'une purée lisse et homogène soit obtenue (Figure 14).



Figure 14 : Écrasement de la purée (Benhamla et Krichiem, 2024).

3.6. Addition et malaxage de la spiruline

Après l'obtention de la purée mixte de pommes de terre et de la farine de dattes, des doses de spiruline (1 %, 3 %, 5 %, 7 %, 9 %) ont été ajoutées et bien mélangées pour obtenir une couleur verte homogène (Figure 15).



Figure 15 : Addition et malaxage de la spiruline (Benhamla et Krichiem, 2024).

4. Évaluation sensorielle de la purée

L'évaluation organoleptique a été effectuée à l'aide d'un panel de dégustateurs composé de 20 sujets féminins et masculins d'âges différents.

Avant de commencer le test, les dégustateurs doivent éviter d'utiliser des produits dont l'odeur est forte, tels que le savon ou les parfums. Il est également recommandé aux sujets de ne pas consommer de nourriture, de boire ou de fumer au moins 30 minutes avant le début du test.

L'analyse sensorielle vise à évaluer objectivement les caractéristiques sensorielles des différents échantillons de purée mixte pour déterminer les doses optimales de farine de dattes et de spiruline à incorporer à la purée de pommes de terre.

4.1. Déroulement de l'analyse sensorielle

Les échantillons ont été présentés dans des assiettes codées par des lettres (Annexe 2). Chaque caractère sensoriel a été évalué sur une échelle de 1 à 9. Plusieurs paramètres ont été évalués tels que : la couleur, l'odeur, le goût, la consistance et l'appréciation générale des produits issus de différentes formulations (Figure 16).



Figure 16 : Photo de déroulement des analyses sensorielles (Benhamla et Krichiem, 2024).

4.1.1. Formulation de purée (pommes de terre + farine de dattes)

Plusieurs purées ont été préparées à base de divers pourcentages de farine de dattes (1%, 3%, 5%, 7%, 8% et 9%) et ont été évaluées par les paramètres organoleptiques suivants : couleur, odeur, goût, consistance et acceptabilité générale. Cette formulation a pour objectif de remplacer le sucre blanc indésirable pour la santé par un constituant naturel (farine de dattes) d'une part et d'autre part de choisir les meilleures formulations (pommes de terre + farine de dattes) nécessaires pour constituer les formulations définitives à base de la spiruline (Formulations à trois constituants : pommes de terre, farine de dattes et spiruline).

4.1.2. Formulation de purée à la spiruline

Après le choix des meilleures formulations de deux constituants, pommes de terre et farine de dattes (7%, 8% et 9%), nous avons essayé d'ajouter le troisième constituant qui a été la poudre de la spiruline en différentes doses : 1%, 3%, 5%, 7% et 9%. Ces produits ont été présentés au panel des analyses sensorielles en évaluant les paramètres de couleur, d'odeur, de goût, de consistance et d'appréciation générale, en utilisant l'échelle de notation suivante :

[1-3] Mauvais. [4-6] moyennement acceptable. [7-9] acceptable.

Le déroulement des analyses sensorielles a été réalisé en trois jours à cause du nombre élevé des produits sortis des formulations : 3 produits de deux constituants (purée de pommes de terre + 7%, 8% et 9% de farine de dattes) multiplié par les 5 doses de spiruline (1%, 3%, 5%, 7% et 9%), alors 15 formulations ont été obtenues dont 5 produits ont été préparés et évalués par jour.

1^{er} jour

Pommes de terre + 7% farine de dattes + (1%, 3%, 5%, 7% et 9%) spiruline.

2^{ème} jour

Pommes de terre + 8% farine de dattes + (1%, 3%, 5%, 7% et 9%) spiruline.

3^{ème} jour

Pommes de terre + 9% farine de dattes + (1%, 3%, 5%, 7% et 9%) spiruline.

Après les analyses sensorielles de chaque jour, nous avons obtenu une meilleure formulation de trois constituants. Les trois formulations choisies ont subi des analyses physicochimiques.

5. Analyses physico-chimiques

5.1. Rhéologie

Les analyses rhéologiques des formulations choisies de purées ont été mesurées à l'aide d'un rhéomètre de type Bohlin CVO, du laboratoire de recherche des analyses industrielles et génie des matériaux, Université de 8 mai 1945 Guelma (Figure 17). Ce rhéomètre possède une enceinte thermo-réglée et permet la réalisation d'essais soit en rotation simple, soit en oscillation. Lors d'une mesure, le module du rhéomètre enregistre la contrainte de cisaillement, en Pa, c'est-à-dire la résistance qu'exerce le matériau pour sa mise en mouvement à une certaine vitesse, convertie en gradient ou vitesse de cisaillement, en s^{-1} . Pour les essais en rotation, cette contrainte est traduite en viscosité, par la loi de Newton. Pour les essais en oscillation, cette contrainte est traduite en module de perte G'' et en module de stockage G' . Le module de perte G'' caractérise le comportement visqueux (liquide) tandis que le module de stockage G' caractérise le comportement élastique (solide), c'est-à-dire la rigidité du matériau viscoélastique (**Dominique et Alain, 2021**).

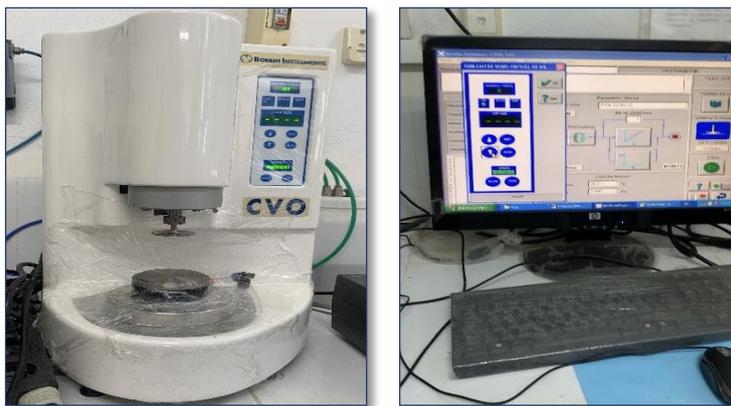


Figure 17 : Disposition expérimental de l'étude rhéologique (Benhamla et Krichiem, 2024).

5.2. pH

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre électronique couplé à une électrode en verre (Figure 18). Cette électrode a été immergée dans l'échantillon de la purée afin de réaliser l'analyse et d'obtenir la lecture du pH.

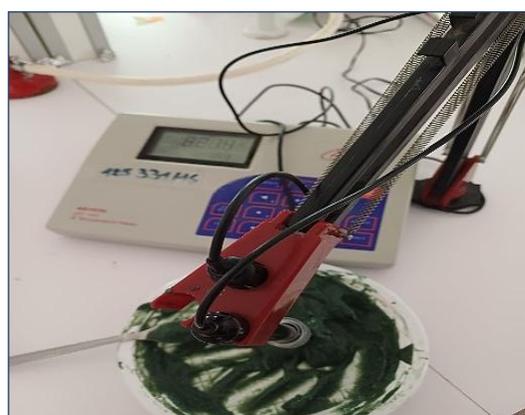


Figure 18 : pH-mètre (Benhamla et Krichiem, 2024).

5.3. Cendres

Les cendres totales d'un produit représentent sa composante minérale indiquant son contenu en sels minéraux. Pour les obtenir, 2 g de l'échantillon ont été incinérés à 525 °C pendant 5 heures dans un four à moufle (Figure 19) jusqu'à l'obtention d'une couleur grise, claire ou blanchâtre conformément à la méthode décrite par l'AOAC en 1998.

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

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

Dont :

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



Figure 19 : Photo de four à moufle d'incinération (Benhamla et Krichiem, 2024).

5.4. Humidité

La mesure d'humidité, a été effectuée conformément à la norme AFNOR 1982. La teneur en eau d'une purée a été mesurée en séchant 3g de l'échantillon à 130°C dans une étuve (Figure 20) pendant 3 heures jusqu'à ce que le poids reste stable.

La teneur en eau est calculée selon la formule suivante :

$$\text{H\%} = \frac{M1 - M2}{P} \cdot 100$$

Dont :

- **M1** : la masse de capsule + matière fraîche avant étuvage.
- **M2** : La masse de l'ensemble après étuvage.
- **P** : La prise d'essai.



Figure 20 : Photo de l'étuve (Benhamla et Krichiem, 2024).

5.5. Lipides

Pour déterminer la quantité de matière grasse dans les différents échantillons, la méthode de Soxhlet a été utilisée. 5 g d'échantillon ont été placés dans les cartouches d'extracteur de Soxhlet. Les ballons ont été pesés à vide, et ensuite, ils ont été remplis par 150 ml d'hexane (solvant d'extraction). L'extraction a été faite à une température de 68°C pendant 4 heures (Figure 21). Après l'extraction, les ballons ont été séchés dans une étuve à 37°C pour évaporer le résidu du solvant, puis refroidis dans un dessiccateur. Enfin, les ballons ont été pesés à nouveau pour obtenir le poids final. La différence de poids des ballon avant et après l'extraction a permis de déterminer la quantité de lipides extraite de chaque échantillon.

La teneur en matière grasse a été calculée selon la formule suivante :

$$L\% = \frac{M2 - M1}{M0} \cdot 100$$

Dont :

- **L%**= représente la teneur en matière grasse.
- **M2**= le poids du ballon avec lipides en gramme (g).
- **M1**= la masse du ballon vide (g).
- **M0**= la masse de la prise d'essai.



Figure 21 : Appareil soxhlet d'extraction de la matière grasse (Benhamla et Krichiem, 2024).

6. Traitement statistique des données

Les résultats obtenus dans notre étude a été traités par un logiciel statistique Minitab version 16. Une analyse de variance ANOVA a été réalisée ($P < 0,05$) pour les résultats des différents échantillons de la purée mixte pour montrer la présence ou l'absence d'une différence significative entre les échantillons étudiés. Le test du Tukey a été également utilisé pour grouper les résultats en différents groupes (A, B, C, etc.).

Chapitre 05
Résultats et discussions

1. Analyses sensorielles

1.1. Meilleure formulation de purée (pommes de terre + farine de dattes)

Les résultats de l'évaluation sensorielle des produits élaborés « purées » à base de pommes de terre enrichies par les différentes doses de farine de dattes sont présentés dans la figure ci-dessous :

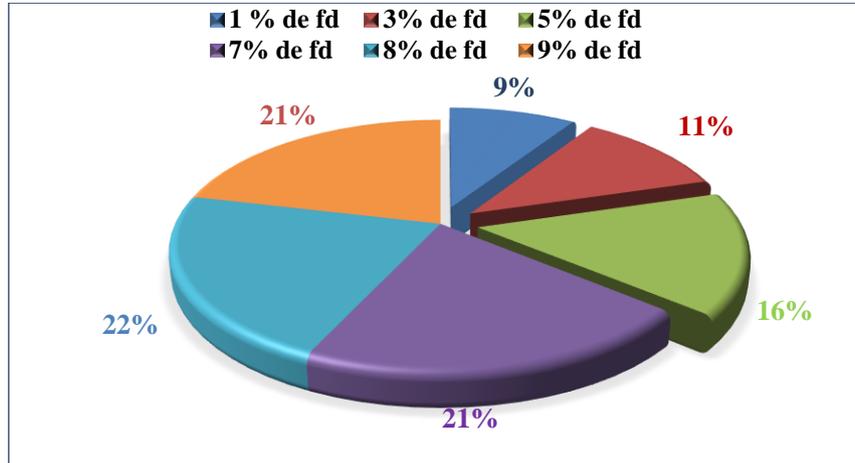


Figure 22 : Appréciation générale de la formulation de purée (pommes de terre + farine de dattes).

Selon le paramètre d'appréciation générale, nous avons choisi les meilleures formulations de purée de pommes de terre avec les différentes doses de farine de dattes (1 %, 3 %, 5 %, 7 %, 8 %, 9 %).

D'après les résultats présentés dans la figure 22, seules les purées contenant 7 %, 8 % et 9 % de farine de dattes ont été plus préférées par le panel de dégustation (21 %, 22 % et 21 % respectivement), comparées aux autres doses (1 %, 3 %, 5 %) qui ont obtenu des taux d'acceptation de (9 %, 11 % et 16 % respectivement).

Donc, plus nous ajoutons de la farine de dattes dans la purée de pommes de terre, plus elle devient acceptable.

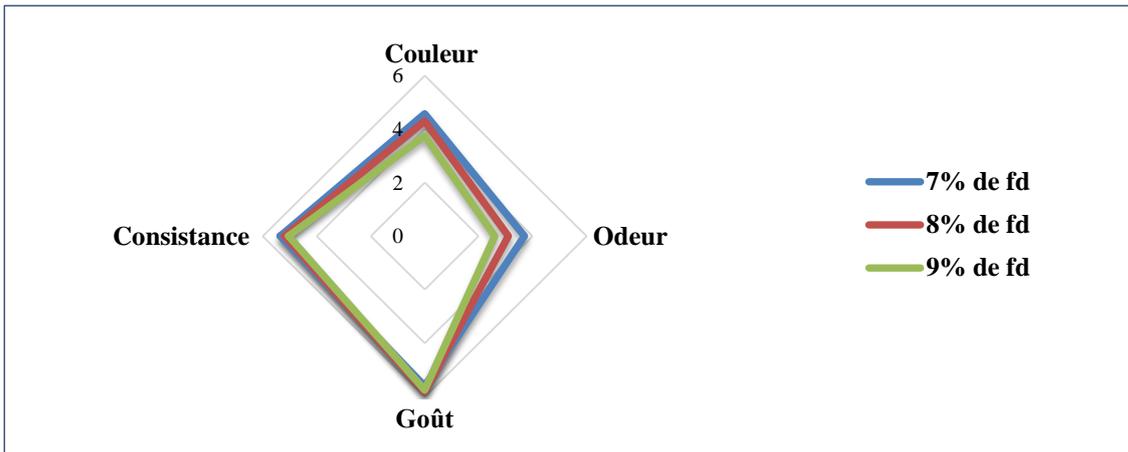


Figure 23 : Profil sensoriel de la purée de la pomme de terre à base de la farine de dattes.

La figure 23 représente les résultats des analyses sensorielles de la purée à base de farine de dattes (7 %, 8 %, 9 %) en respectant les (04) caractères organoleptiques (couleur, odeur, goût et consistance).

D'après le profil réalisé en fonction de la moyenne des notes du panel des analyses sensorielles, nous remarquons que :

Couleur :

La couleur de la dose 7 % est légèrement plus acceptable (4,57) par rapport aux autres doses de la farine de dattes.

Odeur :

Nous observons que plus le pourcentage, de farine de dattes, est élevé, plus l'odeur devient indésirable.

Goût :

Nous notons que la dose de 8 % de farine de dattes a été légèrement meilleure (5,8) par rapport aux doses de 7 % et 9 % qui ont les notes de 5,6 et 5,7 respectivement.

Consistance :

Nous avons remarqué que 7 % de farine de dattes est le pourcentage le plus acceptable (5,35) par rapport aux autres pourcentages de 8 % et 9 % qui sont notés par 5,2 et 5,05 respectivement.

Donc, plus nous ajoutons de farine de dattes, plus la purée devient moins acceptable pour le dégustateur.

1.2. Meilleure formulation de purée à la spiruline

D'après les figures ci-dessous, les meilleures formulations des purées à la spiruline sont les suivantes :

- ✓ 90 % pommes de terre + 7 % de farine de dattes + 3 % de spiruline (Figure 24).
- ✓ 91 % pommes de terre + 8 % de farine de dattes + 1 % de spiruline (Figure 25).
- ✓ 90 % pommes de terre + 9 % de farine de dattes + 1 % de spiruline (Figure 26).

Donc, d'une manière générale, plus la dose de la spiruline est élevée, plus l'acceptabilité de la purée est faible. Ceci peut être expliqué par le manque d'habitude de la consommation des algues et de leurs produits dérivés chez les Algériens malgré la richesse des algues en éléments nutritifs et en molécules bioactives (**Ould Bellahsen et al., 2013**). Le panel des analyses sensorielles n'a pas aimé l'odeur spécifique de la spiruline et sa couleur verte qui a influencé la couleur originale de la purée de pomme de terre.

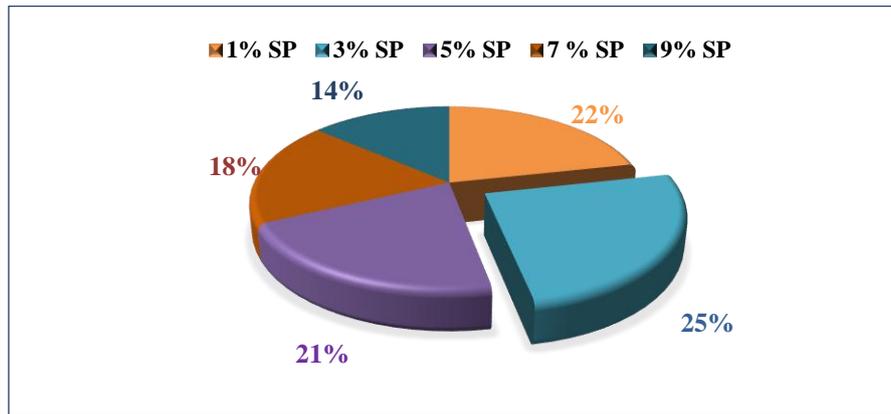


Figure 24 : Appréciation générale de la purée avec 7% de farine de dattes et enrichie par (1%, 3%, 5%, 7% et 9%) de la spiruline.

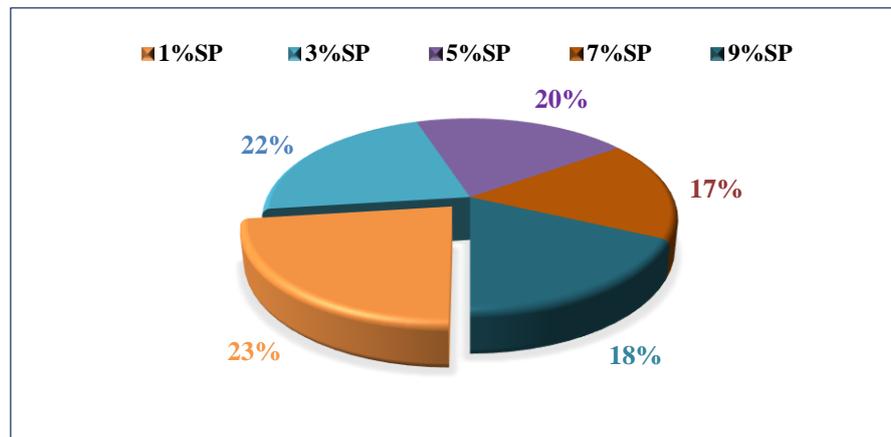


Figure 25 : Appréciation générale de la purée avec 8% de farine de dattes et enrichie par (1%, 3%, 5%, 7% et 9%) de la spiruline.

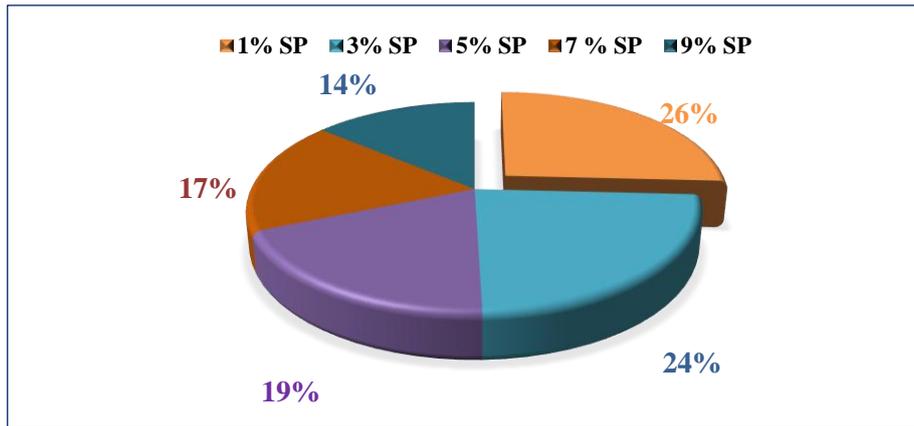


Figure 26 : Appréciation générale de la purée avec 9% de farine de dattes et enrichie par (1%, 3%, 5%, 7% et 9%) de la spiruline.

Chez les populations du Sud-Est de l'Asie, les algues et leurs dérivés sont plus consommés et préférés et les gens sont bien familiarisés avec ces produits. Par ailleurs, nous ne pouvons pas négliger l'effet de préjugé des dégustateurs sur les résultats dont le panel des analyses sensorielles n'est pas habitué à consommer les algues.

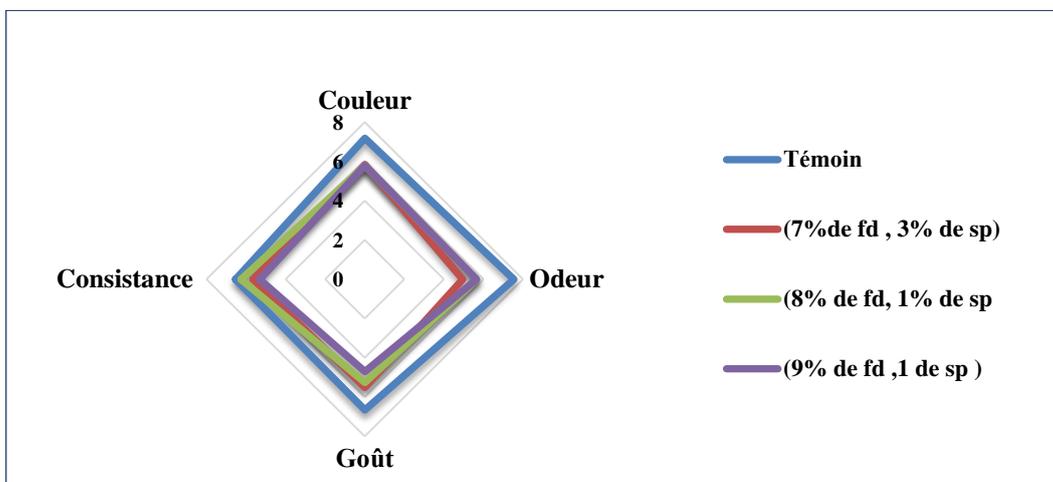


Figure 27 : Profil sensoriel des 3 meilleures formulations.

La figure 27 représente les résultats des analyses sensorielles des 3 meilleures formulations choisies par le panel de dégustation, en évaluant la couleur, l'odeur, le goût et la consistance de ces produits.

D'après le profil sensoriel, nous remarquons que la couleur de la purée témoin (100 % pomme de terre) est la plus acceptable avec la note de 7,18. Alors, plus le pourcentage de la poudre de spiruline est élevé, plus la couleur devient moyennement acceptable.

Pour le goût, nous notons que la purée témoin (100 % pomme de terre) a un goût légèrement agréable de (6,66) par rapport aux autres formulations.

En ce qui concerne l'odeur des produits, nous notons que, plus la dose de la spiruline augmente, plus l'odeur des purées deviennent indésirables.

Par ailleurs, l'acceptabilité de la consistance diminue avec l'augmentation de la dose de spiruline ajoutée.

2. Analyses physico-chimiques

2.1. Rhéologie

2.1.1. Evolution de la viscosité et de la contrainte appliquée en fonction de la vitesse de cisaillement

Les rhéogrammes suivants présente l'évolution de la viscosité et de la contrainte appliquée en fonction de la vitesse de cisaillement. Ces essais sont réalisés dans les conditions suivantes : $T=25^{\circ}\text{C}$ et $\dot{\gamma}$ variée entre $[0,07-30 \text{ s}^{-1}]$.

Les deux courbes représentent l'évolution de la viscosité (courbe rouge) et de la contrainte (courbe bleue) en fonction de la vitesse de cisaillement.

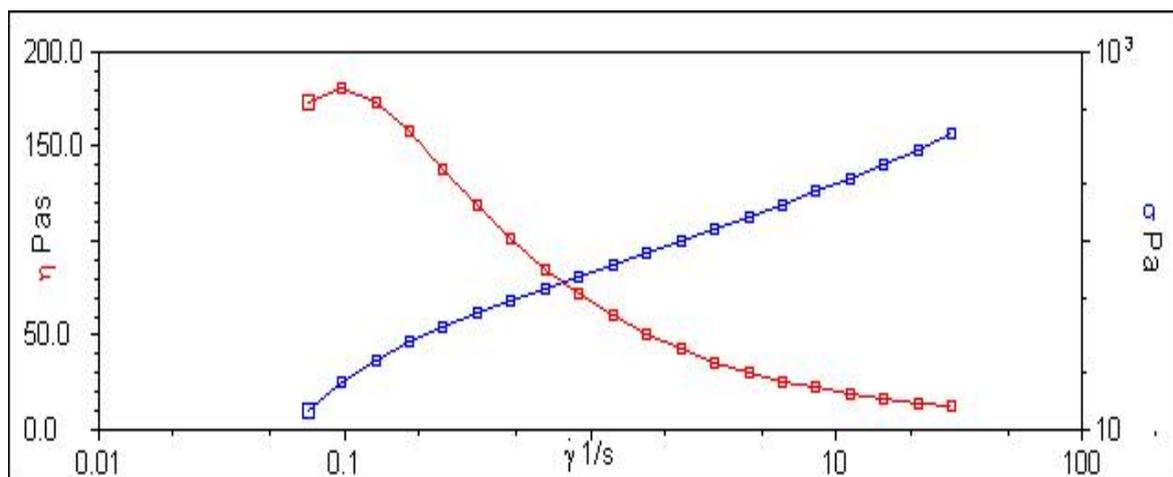


Figure 28 : Évolution de la viscosité et la contrainte de purée témoin (100% pomme de terre) en fonction de la vitesse de cisaillement.

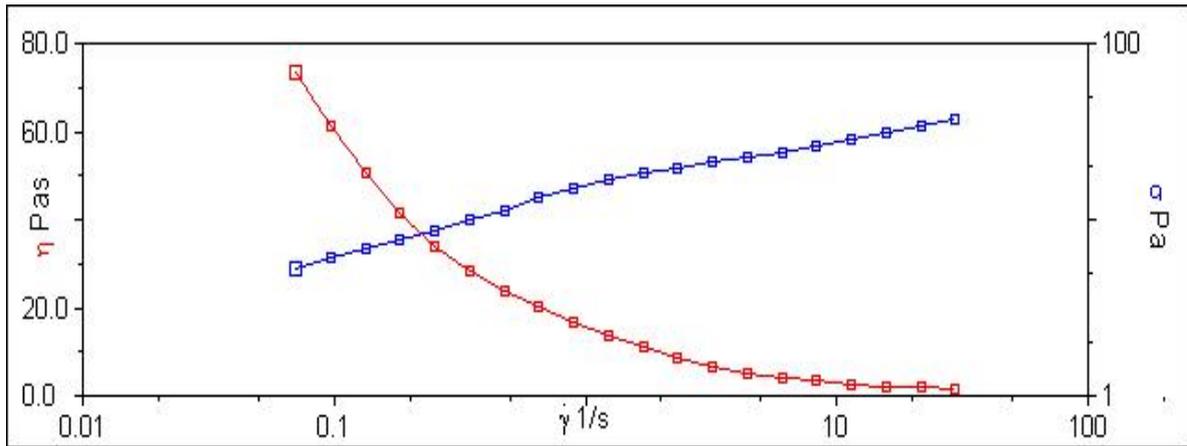


Figure 29 : Évolution de la viscosité et de la contrainte pour la purée avec 7% de farine de dattes et 3% de spiruline en fonction de la vitesse de cisaillement.

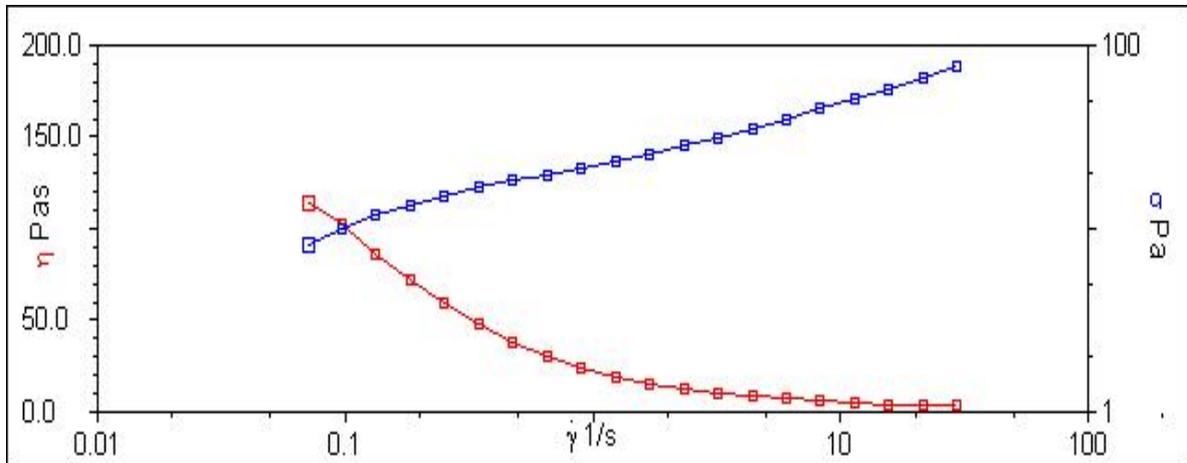


Figure 30 : Évolution de la viscosité et de la contrainte pour la purée avec 8% de farine de dattes et 1% de spiruline en fonction de la vitesse de cisaillement.

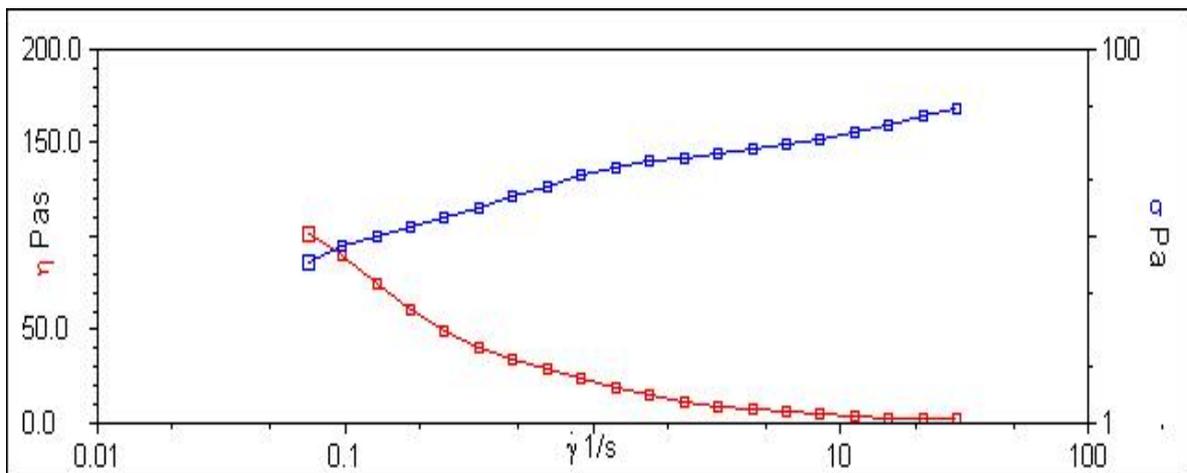


Figure 31 : Évolution de la viscosité et de la contrainte pour la purée avec 9% de farine de dattes et 1% de spiruline en fonction de la vitesse de cisaillement.

D'après les figures, nous constatons que d'une manière générale l'ajout de farine de dattes et de spiruline modifie la viscosité de la purée de pommes de terre. La figure 28, représentant l'échantillon témoin (100% pomme de terre), illustre une diminution typique de la viscosité avec l'augmentation du taux de cisaillement, caractéristique d'un comportement rhéofluidifiant.

En revanche, les figures 29, 30 et 31, montrent une viscosité plus faible à des vitesses de cisaillement comparables, suggérant un comportement pseudo-plastique. Dans ces mélanges, la viscosité diminue rapidement avec l'augmentation de la vitesse de cisaillement, tandis que, la contrainte augmente progressivement, plus fortement aux vitesses de cisaillement élevés pour des mixtes de purée de pomme de terre avec des proportions plus élevées de farine de dattes et de spiruline. Globalement, l'addition de la farine de dattes et de la spiruline tend à réduire la viscosité de la purée de pommes de terre par rapport à l'échantillon témoin. Donc, le comportement de la purée mixte étudié est pseudo-plastique, alors, sa consommation est recommandée pour les consommateurs âgés ou les enfants, car elle est facile à mastiquer dans la bouche.

2.1.2 Analyse rhéologique des propriétés viscoélastiques de la purée en fonction de la fréquence

La figure 32 illustre les courbes représentant le module de conservation ou module élastique G' (courbe bleu) et le module de perte ou module visqueux G'' (courbe rouge) en fonction de la fréquence.

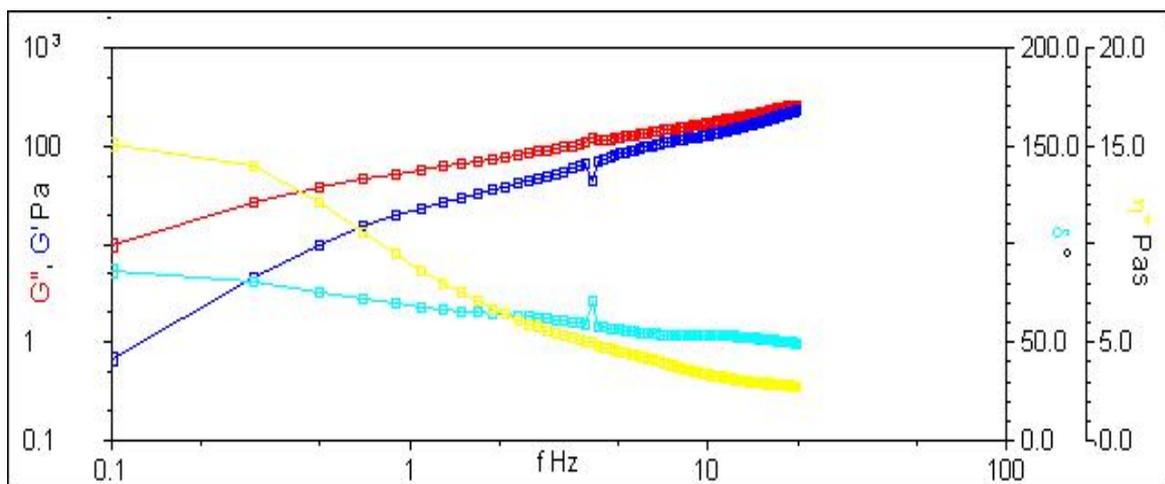


Figure 32 : Module G' et G'' en fonction de la fréquence.

L'analyse des résultats montre que le module visqueux (G'') atteint des valeurs plus élevées que les valeurs du module élastique (G') et ceci pendant toute la plage de la fréquence testée. Par ailleurs, les deux modules visqueux et élastique ont la même tendance d'augmentation en fonction de la fréquence, ce qui indique un comportement principalement viscoélastique.

2.2. pH

D'après la figure 33, les résultats obtenus peuvent mettre en évidence l'évolution du pH des quatre échantillons de la purée élaborée. Le pH de l'échantillon témoin (100% pomme de terre) est de 6,03, indique une proximité avec la neutralité. Lors de l'ajout de 7 % de farine de dattes et 3 % de spiruline, le pH diminue à 5,24, rendant la purée plus acide. En augmentant la farine de dattes à 8 % et en réduisant celle de la spiruline à 1 % le pH est encore diminué à 4,34. Finalement, le pH de l'échantillon contenant 9 % de farine de dattes et 1 % de spiruline est de 4,17, ce qui témoigne d'une acidité plus élevée.

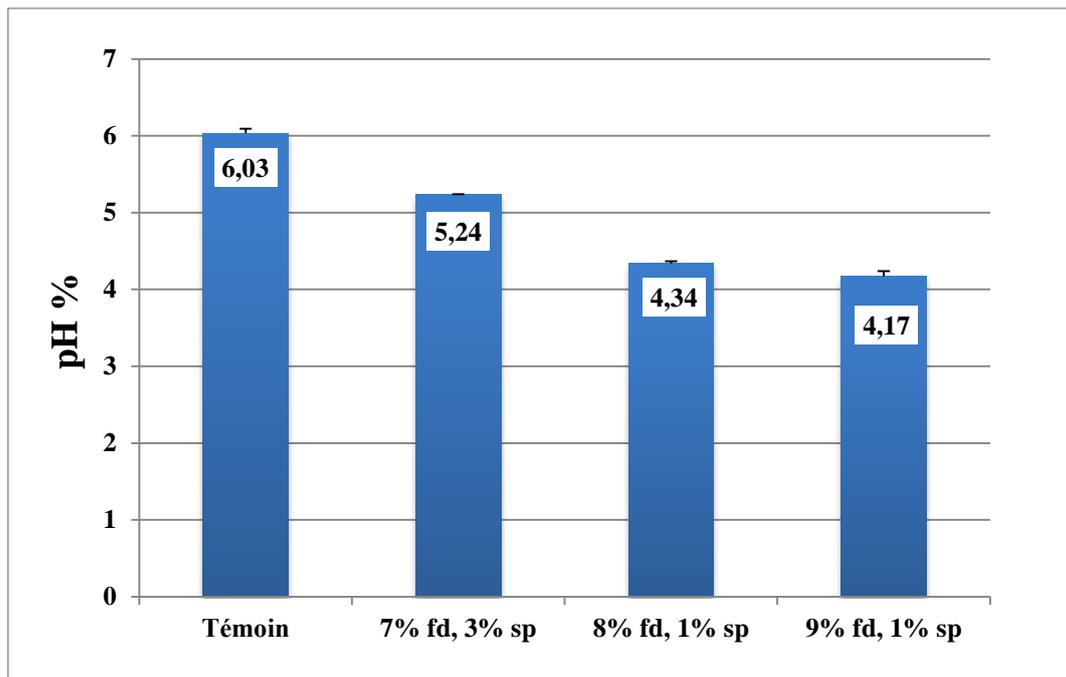


Figure 33 : pH des différents échantillons de la purée mixte.

À la lumière de ces résultats, Nous pouvons dire que l'augmentation des proportions de farine de dattes et de spiruline dans la purée contribue à la diminution du pH (c'est-à-dire à l'augmentation d'acidité), et que cette augmentation d'acidité renforce la stabilité de la purée et prolonge sa durée de conservation.

Tableau 05 : Analyse de variance des résultats du pH des différents échantillons de purée mixte.

Produits	N (essai)	pH	ANOVA ($p < 0,05$)	Test de Tukey
Témoin	3	6,03±0,005	0,000	A
7% fd, 3% sp	3	5,24±0		B
8% fd, 1% sp	3	4,34±0,02		C
9% fd, 1% sp	3	4,17±0,06		D

L'analyse statistique des résultats du pH par le test d'ANOVA et le test de Tukey montre qu'il y a une différence significative entre les différents échantillons de la purée mixte. Les résultats sont groupés en 4 groupes (A, B, C, D). Donc, l'addition de la spiruline et de la farine de dattes a un effet significatif sur le pH des différents échantillons de la purée mixte de la pomme de terre.

2.3.Cendres

Les résultats du taux de cendres des trois formulations choisies et le témoin sont démontrés dans la figure 34. Nous observons que le témoin (100% pomme de terre), présente un taux de cendre très faible de 0,5 %. Si nous incorporons 7% de farine de dattes et 3% de spiruline, le taux de cendre augmente à 0,83%. Cependant, en additionnant 8% de farine de dattes et 1% de spiruline, le taux de cendre atteint 0,78%. Ainsi, la combinaison de 9% de farine de dattes et 1 % de spiruline avec la purée de pomme de terre, augmente le taux de cendre à 0,80%.

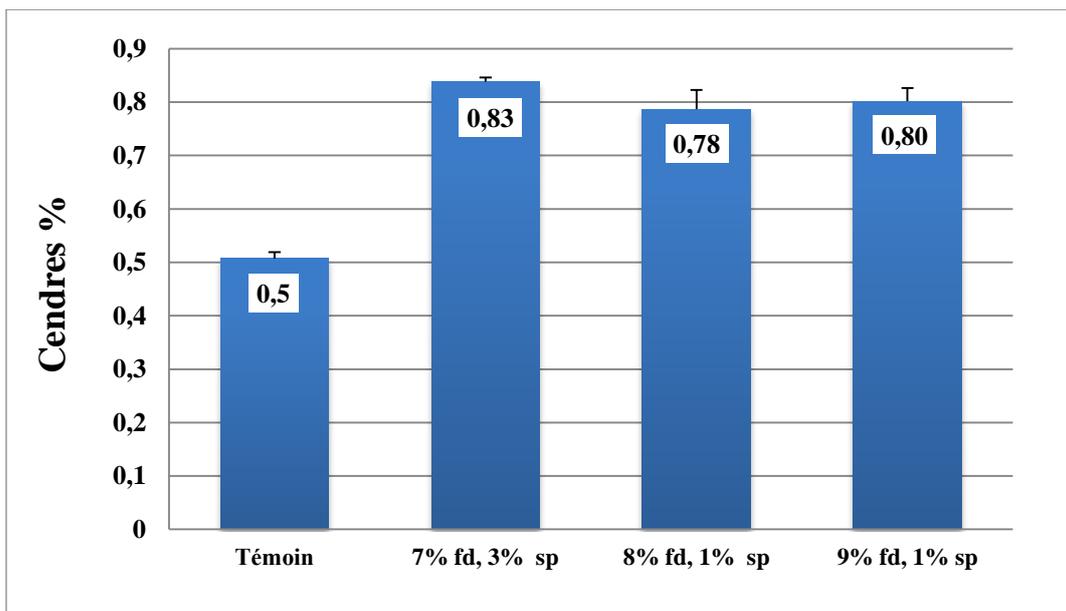


Figure 34 : Teneur en cendres des différents échantillons de la purée mixte.

Selon ces résultats, l'incorporation de farine de dattes et de la spiruline, qui contiennent des minéraux tels que le potassium, le magnésium et le calcium, entraîne une augmentation significative du taux des cendres par rapport au témoin.

Tableau 06 : Analyse de variance des résultats des cendres des différents échantillons de purée mixte.

Produits	N (essai)	Cendres	ANOVA ($p < 0,05$)	Test de Tukey
9% fd, 1% sp	3	0,80±0,02	0,000	A
7% fd, 3% sp	3	0,83±0,007		A
8% fd, 1% sp	3	0,78±0,03		A
témoin	3	0,50±0,012		B

L'analyse statistique des résultats des cendres par le test d'ANOVA et le test de Tukey montre qu'il y a une différence significative entre le témoin et les différents échantillons de la purée mixte.

Les résultats sont groupés en 2 groupes (A, B). Donc, l'addition de la spiruline et de la farine de dattes a un effet sur les cendres des différents échantillons de la purée mixte.

2.4. Humidité

D'après la figure 35, le taux d'humidité de la purée varie en fonction des pourcentages de farine de dattes et de spiruline ajoutés.

Pour l'échantillon témoin (100% pomme de terre), le taux d'humidité est d'environ 79,97%. Après l'addition de 7 % de farine de dattes et de 3 % de la spiruline, ce taux diminue de manière significative à 69,97 %. Cependant, dans l'échantillon de purée mixte avec l'addition de 8 % de farine de dattes et de 1 % de spiruline, le taux d'humidité remonte légèrement à 72,43 %. Ainsi, dans l'échantillon de purée mixte avec 9 % de farine de dattes et 1 % de spiruline, l'humidité atteint un pourcentage de 71,67 %.

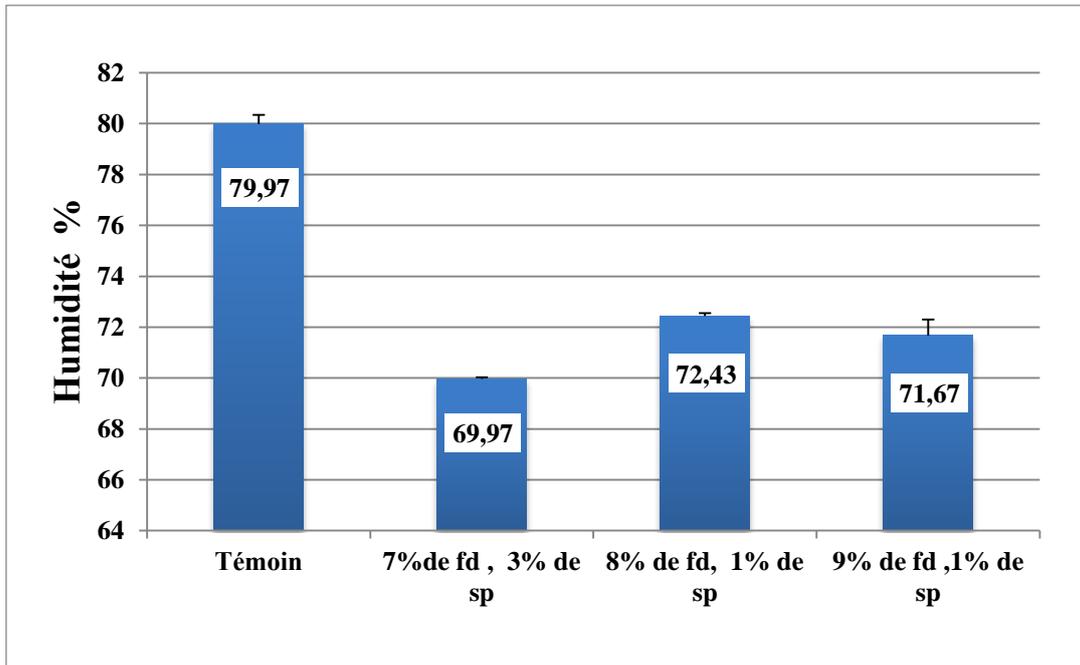


Figure 35 : Teneur en eau des différents échantillons de la purée mixte.

Nous pouvons donc constater que l'ajout de farine de dattes et de spiruline à la purée de pommes de terre peut influencer le taux d'humidité en raison de leurs propriétés hygroscopiques et leur capacité à lier l'eau. La farine de dattes a une teneur élevée en fibres, qui ont une grande capacité d'absorption d'eau. Cela peut réduire le taux d'humidité global de la purée en retenant l'eau au sein des fibres alimentaires, rendant l'eau moins disponible pour le produit final (Viuda-Martos *et al.*, 2024). La spiruline contient également des protéines et des fibres, qui peuvent lier l'eau et réduire ainsi le taux d'humidité. De plus, la spiruline a des propriétés hygroscopiques, ce qui signifie qu'elle peut absorber et retenir l'eau (Ghodake *et al.*, 2024). Donc cette réduction de taux d'humidité dans la purée de pomme de terre mixte apporter des avantages supplémentaires pour la conservation.

Tableau 07 : Analyse de variance des résultats d'humidité des différents échantillons de purée mixte

Produits	N (essai)	Humidité	ANOVA ($p < 0,05$)	Test de Tukey
Témoin	3	79,97±0,3	0,000	A
8% fd, 1% sp	3	72,43±0,1		B
9% fd, 1% sp	3	71,67±0,6		B
7% fd, 3% sp	3	69,97±0,06		C

L'analyse statistique des résultats d'humidité des différents échantillons de purée de pomme de terre mixte par le test d'ANOVA et le test de Tukey montre qu'il y a une différence significative entre les différents échantillons de la purée mixte.

Les résultats sont groupés en 3 groupes (A, B, C). Donc, l'addition de la spiruline et la farine de dattes a un effet significatif sur l'humidité des différents échantillons de la purée mixte.

2.5. Lipides

D'après la figure 36, nous constatons que le taux de lipides dans le témoin (100 % pomme de terre) est faible. Nous remarquons également une augmentation significative du taux de lipides dans la purée mixte contenant 7 % de farine de dattes et de 3 % de spiruline, atteignant ainsi 0,71 %. Pour la purée contenant 8 % de farine de dattes et 1 % de spiruline, nous observons une diminution du taux de lipides 0,59 % par rapport l'échantillon précédent, ceci peut être due à la baisse de la teneur en spiruline 1%. Par la suite, nous notons une légère augmentation du taux de lipides 0,62% dans la purée contenant 9 % de farine de dattes et 1 % de spiruline, en raison de l'augmentation de la teneur en farine de datte.

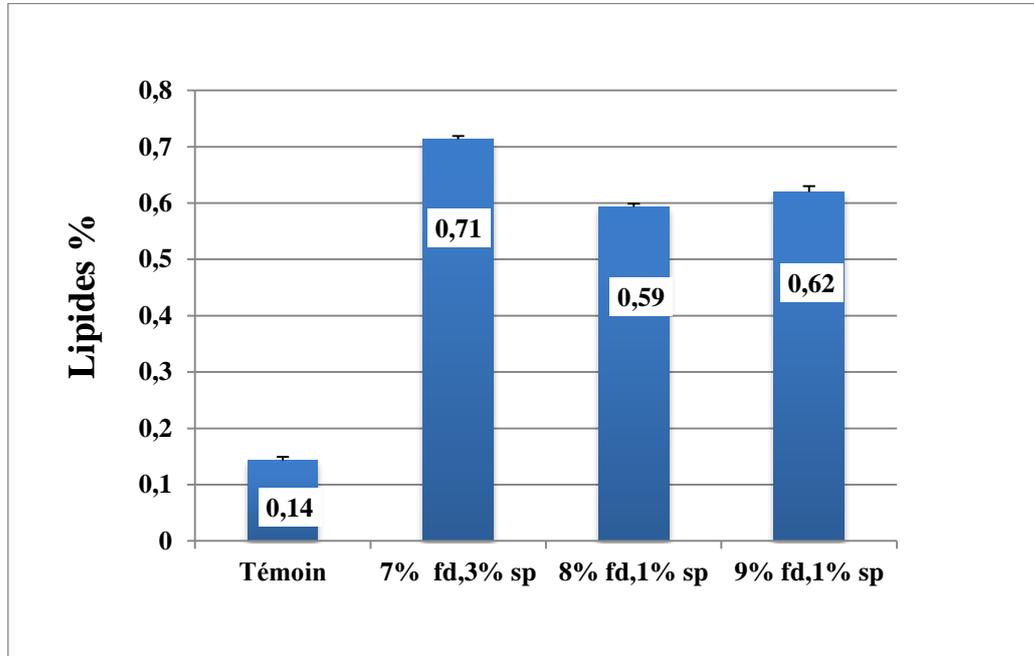


Figure 36 : Teneur en lipides des différents échantillons de la purée mixte.

Donc, l'ajout de farine de dattes et de spiruline peut augmenter le taux de matière grasse dans les aliments en raison de leurs compositions nutritionnelles spécifiques. La spiruline contient une quantité notable d'acides gras essentiels, comme l'acide gamma-linolénique, et

d'autres nutriments bénéfiques (**Ramirez-Rodrigues et al., 2021**), Tandis que, la farine de dattes contribue à l'augmentation de la teneur en lipides dans les produits alimentaires en raison de sa composition en acides gras ,notamment en acide oléique, qui est un acide gras mono-insaturé (**Viida-Martos et al., 2024**). Ces ingrédients enrichissent ainsi la purée de pommes de terre en matières grasses, améliorant sa valeur nutritionnelle globale.

Tableau 08 : Analyse de variance des résultats des lipides des différents échantillons de purée mixte.

Produits	N (essai)	Lipides	ANOVA ($p < 0,05$)	Test de Tukey
7% fd, 3% sp	3	0,71±0,005	0,009	A
9% fd, 1% sp	3	0,62±0,01		A
8% fd, 1% sp	3	0,59±0,005		AB
Témoin	3	0,14±0,005		B

L'analyse statistique des résultats des lipides par le test d'ANOVA et le test de Tukey montre qu'il y a une différence significative entre les différents échantillons de la purée mixte de la pomme de terre.

Les résultats sont groupés en 3 groupes (A, B, AB). Donc, l'addition de la spiruline et de la farine de dattes a un effet significatif sur les lipides des différents échantillons de la purée mixte.

Conclusion et perspectives

Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'effet de l'incorporation de la spiruline dans les purées mixtes de pommes de terre naturellement sucrées par la farine de dattes, et de déterminer son impact sur la qualité physico-chimique et organoleptique de ce produit, en prenant en compte des paramètres tels que l'humidité, le pH, la teneur en cendres, la teneur en lipides et les propriétés rhéologiques.

Les résultats des analyses sensorielles ont montré que les purées de pomme de terre contenant 7 %, 8 % et 9 % de farine de dattes étaient les plus appréciées par le panel de dégustation. Toutefois, les proportions choisies de l'incorporation de la spiruline à la purée de pomme de terre sucrée par la farine de datte, étaient de 7 % de farine de dattes avec 3 % de spiruline, 8 % de farine de dattes avec 1 % de spiruline, et 9 % de farine de dattes avec 1 % de spiruline. Donc, d'une manière générale, les dégustateurs préfèrent les purées à faible dose de la spiruline. Ceci montre que le consommateur algérien n'est pas habitué à consommer les algues et leurs produits, malgré la richesse de ces produits en éléments nutritifs et en molécules bioactives très recommandées pour santé humaine.

Alors, il est nécessaire de faire un effort de sensibilisation pour changer les mauvaises habitudes alimentaires chez les consommateurs et convaincre les gens à consommer les nouveaux produits à forte valeur nutritionnelle comme les produits à base des algues.

Par ailleurs, les analyses physico-chimiques ont révélé que l'augmentation des proportions de spiruline et de farine de dattes entraîne une diminution de l'humidité et du pH des purées mixtes, ce qui facilite leur conservation. Néanmoins, la teneur en cendres et en lipides augmente avec l'incorporation de la spiruline et de farine de dattes dans la purée de pomme de terre, ce qui indique une augmentation de la teneur en éléments minéraux, améliorant ainsi sa valeur nutritionnelle.

L'étude des propriétés rhéologiques, des purées mixte, montre que ces produits possèdent des propriétés viscoélastique. Ainsi, l'augmentation des proportions de spiruline et de farine de dattes incorporées réduit la viscosité des purées mixtes ce qui les rend plus facile à consommer pour les enfants et les personnes âgées.

A la lumière de ces résultats, il est évident que l'incorporation de spiruline et de farine de dattes a un impact significatif sur la qualité physico-chimique et organoleptique de la purée mixte de pomme de terre. Par conséquent, l'incorporation de ces ingrédients peut être considérée comme une méthode prometteuse pour enrichir la valeur nutritionnelle des purées de pommes de terre.

Conclusion

Pour approfondir ces résultats, il serait intéressant de mener des recherches supplémentaires sur les points suivants :

- ✓ Dosage du taux de protéines et de fibres alimentaires dans la purée mixte ;
- ✓ Définir la nature hygiénique des produits par des analyses microbiologiques approfondies ;

Ainsi, ce travail ouvre la voie à des nouvelles perspectives pour l'enrichissement nutritionnel des produits alimentaires grâce à l'utilisation de la spiruline et de la farine de dattes.

Références bibliographiques

A

Abdallah, M., Benkhirdine, 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.

Aniane, T., (2011). Valorisation de la biomasse algale du Marne : Potentialit pharmacologiques et applications environnementales, cas des algues brunes *Cystoseira tamariscifolia* et *Bifurca riabifurcata*. Thèse de doctorat en chimie, Université Hassan II - Casablanca, Maroc.

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.

Andress, Elizabeth, L., et Judy, A. Harrison., (2004). "Freezing Prepared Foods." National Center for Home Food Preservation, University of Georgia.

Anderson, P., et Roberts, S., (2020). «Industrial Methods of Potato Processing". *Agricultural Technology*, 32(5), 245-252.

Aljobair, M., Alkuraieef, N., AlKehayez, A., Nora, M., (2021). Physicochemical properties, nutritional value, and sensory attributes of a nectar developed using date palm puree and spirulina. *International Journal of Food Properties*. 24(1) : 845-858.

B

Bernard, C., (2014). Les cyanobactéries et leurs toxines, *Rev Francoph Lab* ,53–68p.

Balloni, W., Tomasselli, S., Giovannetti and Margheri, M. C., (1980). *Biologia fondamentale del genera Spirulina*, p. 49-85 in Materassi R. (ed) *Prospective della coltura di Spirulina in Italia*. Consilio Nazionale delle Ricerche, Rome.

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

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. 35

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.

Brown, L., ET Harris, M., (2018). Laminated Potato Products. Journal of Food Processing and Preservation, 40(4), 310-316.

C

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

Cruchot, H., (2008). La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse docteur en pharmacie. Université de France-Comite.

Castenholz, R.W., (2001). Phylum BX. Cyanobacteria. Oxygenic Photosynthetic Bacteria. In: Bergey Manual of Systematic Bacteriology. Volume 1: The Archaea and the Deeply Branching and Phototropic Bacteria. Second Edition. G. Garrity, D. R. Boone, and R.W.Castenholz (eds.) Springer-Verlag, New York.

Casal, A., (2019). L'Aliment Idéal et le plus Complet de Demain, Site web, www.spirulinefrance.fr.

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, p 6, 16.

Chen, X., Li, D., (1999). Food powder technology. Journal Food Eng Vol 94, pp 129.

D

Durand-Chastel, H., (1993). La Spiruline, algue de vie. Bull. Inst. Océanog. Monaco, n° spécial 12 : 7-11.

Dupont, Jean., (2003). "Histoire de la Purée de Pommes de Terre." Histoire Culinaire Européenne.

Dupont, Jean., (2003). "Histoire de la Purée de Pommes de Terre." Histoire Culinaire Européenne. <http://www.xn--histoireculinaireeuropeenne-wlc.com/purée-de-pommes-de-terre>

Dansou, A. (2002). La spiruline : propriétés nutritionnelles et applications potentielles", Revue de nutrition et de diététique, 12(3), 45-62.

Dominique D, Alain P, (2021). « Mesure de la viscosité-viscosimètres et rhéomètres », techniques de l'ingénieur.

E

Evoliconseil., Dupont, D., Souchon, I., (2014). Structure de Aliments Effets Nutritionnels, Edition Quae, RD 10,78026 Versailles Cedex. P451.

Evans, M., et White, D., (2021). Sensory Evaluation of Potato Products. Food Quality and Preference, 29(2), 78-85.

F

Fox, R. D., (1999). La spiruline : technique, pratique et promesse, EDISUD, aix de provence, pp 246.

Ferrar, W-V., (1966). Techuitlatl, a Glimpse of Aztec Food Technology. Nature, 211, pp341-342.

Fox, R. D., (1999). La spiruline : technique, pratique et promesse. Edisud: 246. ISBN 2-7449-0100-8. p. 18-129.

Fox, (1999). Spiruline : technologie pratique et promesse – France, 240p.

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

G

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

Guilherme, R.C., José, R.D., Carmo, F., (2006). Reviens de Biologie et phylogénie des Algues. Tome 1. Paris : Belin, 351p.

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

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 .

Ghodake, G.S., Goswami, S.V., et Chaudhari, P.D., (2024). Antioxidant, anti-inflammatory and nutraceutical potential of Spirulina: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 10(10), 1587.

<https://www.phytojournal.com/archives/2024/vol10issue10/PartR/10-10-159-426.pdf>

J

Jordan., (1999). Cultivez votre spiruline : Manuel de culture artisanale, Genève, PP85, 63.

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

Jay, James, M., Martin, J. Loessner, et David, A. Golden., (2005). "Modern Food Microbiology." Springer Science & Business Media.

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.

Johnson, K., Smith, J., et Brown, L., (2022). Quality Parameters of Mashed Potatoes. International Journal of Food Quality, 60(7), 450-458.

Johnson, K., Smith, J., et Brown, L., (2022). Global Consumption Patterns of Potato Products. Nutrition and Food Science, 48(9), 655-662.

Jaouen, P., Lépine, B., Rossignol, N., (1999). Clarification and concentration with membrane technology Technique Vol 13, pp 877-881.

K

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

L

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

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 p50.

Liang, A.C., Chen, L.I.H., (2001). Fast-dissolving intraoral drug delivery systems: areview. Expert. Opin. Ther. Patents. Vol 11, pp 981-986.

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

M

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

N

Nisizawa, K., Noda, H., Kikuchi, R., Watanabe, T., (1987). Les principaux aliments à base D'algues au Japon. Hydrobiologie 151/152 : 5-29.

Niangoran, 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, p 39.

O

Oliveira, B., Machado, M., Costa, S., Bessada, A., Alves, S., Oliveira, R., Maria Beatriz, M., (2023). Algae Incorporation and Nutritional Improvement: The Case of a Whole- Wheat Pasta. Foods. 12(16): 3039.

Özyurt, G., Uslu, L., Yuvka, L., Gökdoğan, S., Atci, G., Ak, B.I., Oya, (2015). Evaluation of the cooking quality characteristics of pasta enriched with Spirulina platensis. Journal of Food Quality. 38(4) : 268-272.

Ollier, A., (2017). Utilisation des algues dans les compléments alimentaires usages et justifications scientifiques. Thèse doctorat.

P

Pérez, R., (1997). Ces algues qui nous entourent. In : Arbault, S., Barbaroux, O., Philiponeau, P., Rouxel, C. (Eds.). France, Plouzané, Editions IFREMER, pp : 272. 5.

Perez, R., (1997). Ces algues qui nous entourent : conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisations, culture. Editions IFREMER, pp 16-23.

Parry, R. T., (1993). "Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods." Springer Science & Business Media.

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

Pagnussatt, F. A. S., Bertolin, F., Costa, T. E., Vieira., Gutkoski, J.A., Carlos, L., (2014). Technological and nutritional assessment of dry pasta with oatmeal and the microalga *Spirulina platensis*. Brazilian Journal of Food Technology.17: 296-304.

R

Riyad, Y.N., Slama, M., Salwa, M., (2020). Evaluation of gluten-free noodles fortified by *Spirulina* algae. Egyptian Journal of Nutrition. 35(1) : 133-160.

Ramírez, R., Estrada-Beristain, M., Metri-Ojeda., Pérez-Alva, J., Baigts-Allende, A., Diana, K., (2021). *Spirulina platensis* protein as sustainable ingredient for nutritional food products development. Sustainability. 13(12) : 6849.

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

Ramírez-Rodrigues, M.M., Estrada-Beristain, C., Metri-Ojeda, J., Pérez-Alva, A., et Baigts-Allende, D.K. (2021). *Spirulina platensis* Protein as Sustainable Ingredient for Nutritional Food Products Development. Sustainability, 13(12), 6849.

<https://doi.org/10.3390/su13126849>

S

Sandrine et Garon-Lardiere., (2004). "Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales) ", Thèse de Doctorat, Université De Bretagne Occidentale, PP : 04-06.

Stanier, R. Y., (1974). Division I, the Cyanobacteria. In: Bergey`s manual of determinative bacteriology. Bouchanan R. E and Gibbon N. E. p 22.

Sall, M.G., Dankoko, B., Badiane, Ehua, E., Kuwakui, N., (1999). La Spiruline, Une Source Alimentaire à Promouvoir, Laboratoire de Chimie Thérapeutique, Dakar, Sénégal, Article 46 (3).

Sguera, S., (2008). Spirulina Platensis et ses Constituants, Intérêts Nutritionnels et Activités Thérapeutiques, Thèse pour obtenir le Diplôme d`Etat de Docteur en 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.

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.

Smith, J., Brown, L., ET Harris, M., (2019). " Potato Processing and Utilization". Food Science Journal, 45(3), 123-130.

Shahid, J., (2023). Climate change, food systems and the Islamic perspective on alternative proteins. Trends in Food Science & Technology. 138: 480-490.

Sözeri, A., Gürbüz, D., Bölük, B., Palabıyık, E., (2021). Development of vegan kefir fortified with *Spirulina platensis*. Food Bioscience. 42 : 101-050.

T

Tarik, AINANE., (2011). Valorisation de la biomasse algale du Maroc, p.07.

Taylor, R., Evans, M., et White, D., (2021). Advances in Potato Processing Techniques. Food Engineering Reviews, 50(1), 34-42.

V

Vidal, J. L., (2008). 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.

Vidal, 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.

Viuda-Martos, M., Pérez-Álvarez, J.A., et Fernández-López, J., (2024). Date (Phoenix dactylifera L. cv. Medjool) Seed Flour, a Potential Ingredient for the Food Industry: Effect of Particle Size on Its Chemical, Technological, and Functional Properties. Plants, 13(3), 335.

X

Xu, C.W., (1993). An instant algal noodle and its production method, Chinese Patent CN1077857A. Technol. Vol 3, N°2, pp 79–88.

Y

Yamaguchi, K., (1997). Recent advances in microalgal bio-science in Japan, with special reference to utilization of biomass and metabolites : are view, Journal. Appl. Phycol. Vol 8 N°6, pp 487-502

Z

Zarrouk, C., (1966). Contribution à l'étude d'une cyanophycée influence de divers facteurs Physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de Spirulina maxima (Setch. et Gardner) Geitler. Thèse doctorat. Université de Paris.

Annexe

Annexe 01. Matériel utilisé



La pomme de terre



La spiruline



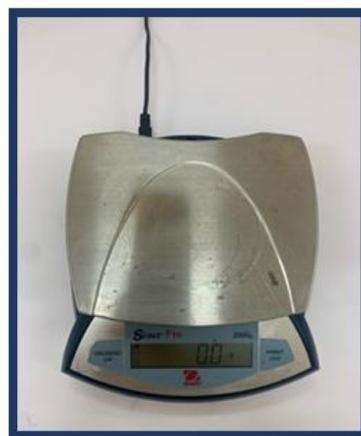
La farine de dattes



Plaque chauffante



Balance analytique



Balance



Creusets



Dessiccateur



Four à moufle

Annexe 01. Matériel utilisé



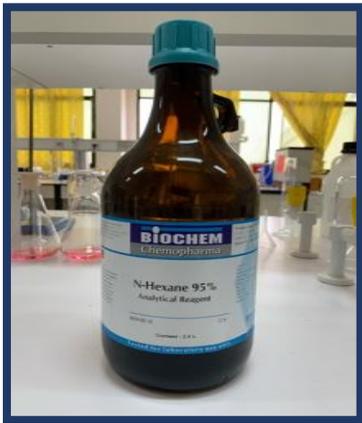
Bras mixeur



Casserole



Éplucher + cuillère



Hexane



Éprouvette

Annexe 02. Fiche et codage d'analyse sensorielle

1-3

4-6

7-9

Mauvais

moyennement

très acceptable

Acceptable

(C)

(D)

Couleur 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Odeur 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Goût 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Consistence 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Appreciations
Générale 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Couleur 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Odeur 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Goût 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Consistence 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Appreciations
Générale 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

(E)

(F)

Couleur 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Odeur 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Goût 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Consistence 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Appreciations
Générale 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Couleur 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Odeur 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Goût 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Consistence 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Appreciations
Générale 1 2 3 4 5 6 7 8 9
|-----|

Tableau 01 : Codage des assiettes de la purée à base de farine de dattes

Codage	Échantillon
A'	1% de la farine de dattes
B'	3% de la farine de dattes
C'	5% de la farine de dattes
D'	7% de la farine de dattes
E'	8% de la farine de dattes
F'	9% de la farine de dattes

Tableau 02 : Codage des assiettes de la purée à la spiruline.

Codage	Échantillon
A	Le témoin
B	Purée enrichie a 1% de spiruline
C	Purée enrichie a 3% de spiruline
D	Purée enrichie a 5% de spiruline
E	Purée enrichie a 7% de spiruline
F	Purée enrichie a 9% de spiruline
AA	Le témoin
AB	Purée enrichie a 1% de spiruline
AC	Purée enrichie a 3% de spiruline
AD	Purée enrichie a 5% de spiruline
AE	Purée enrichie a 7% de spiruline
AF	Purée enrichie a 9% de spiruline
AAA	Le témoin
AAB	Purée enrichie a 1% de spiruline
AAC	Purée enrichie a 3% de spiruline
AAD	Purée enrichie a 5% de spiruline
AAE	Purée enrichie a 7% de spiruline
AAF	Purée enrichie a 9% de spiruline

Tableau 01 : pH des différents échantillons de la purée mixte.

Échantillon	pH (%)
1 (Témoin)	6,03±0,05
2 (7% de fd, 3% de sp)	5,24±0
3 (8% de fd, 1% de sp)	4,34±0,02
4 (9% de fd, 1% de sp)	4,17±0,06

Tableau 02 : Teneur en cendres des différents échantillons de la purée mixte.

Echantillon	La teneur en cendres (%)
1 (Témoin)	0,50±0,012
2 (7% de fd, 3% de sp)	0,83±0,007
3 (8% de fd, 1% de sp)	0,78±0,03
4 (9% de fd, 1% de sp)	0,80±0,02

Tableau 03 : Teneur en eau des différents échantillons de la purée.

Échantillon	La teneur en eau (%)
1 (Témoin)	79,97±0,3
2 (7% de fd, 3% de sp)	69,97±0,06
3 (8% de fd, 1% de sp)	72,43±0,1
4 (9% de fd, 1% de sp)	71,67±0,6

Tableau 04 : Teneur en lipides des différents échantillons de la purée.

Échantillon	La teneur en lipides (%)
1 (Témoin)	0,14±0,005
2 (7% de fd, 3% de sp)	0,71±0,005
3 (8% de fd, 1% de sp)	0,59±0,005
4 (9% de fd ,1% de sp)	0,62±0,01

Tableau 05 : Évolution de la viscosité et la contrainte de purée témoin (100% pommes de terre) en fonction de la vitesse de cisaillement.

	Temps s	Température °C	Contrainte Pa	Gradient de vitesse 1/s	Viscosité Pas	Gradient de Vitesse Cible 1/s
1, 1	10.02	25	12.44	0.07176	173.4	0.0716
1, 2	20.08	25	17.66	0.09794	180.3	0.09838
1, 3	30.19	25	23.23	0.1346	172.6	0.1352
1, 4	40.25	25	29.03	0.1849	157	0.1858
1, 5	50.32	25	34.94	0.2541	137.5	0.2552
1, 6	60.38	25	41.2	0.3492	118	0.3507
1, 7	70.47	25	48.01	0.4798	100.1	0.4819
1, 8	80.59	25	55.57	0.6592	84.31	0.6622
1, 9	90.65	25	64.23	0.9058	70.91	0.9099
1, 10	100.7	25	74.27	1.245	59.67	1.25
1, 11	110.8	25	85.69	1.71	50.1	1.718
1, 12	120.9	25	98.75	2.35	42.02	2.361
1, 13	131	25	113.2	3.229	35.06	3.244
1, 14	141	25	131.3	4.437	29.6	4.457
1, 15	151.1	25	153	6.097	25.1	6.124
1, 16	161.2	25	181.5	8.378	21.67	8.415
1, 17	171.3	25	212.8	11.51	18.48	11.56
1, 18	181.4	25	249.7	15.82	15.79	15.89
1, 19	191.4	25	298.9	21.74	13.75	21.83
1, 20	201.5	25	361.2	29.87	12.09	30

Tableau 06 : Évolution de la viscosité et la contrainte pour la purée avec 9% de farine de dattes et 1% de la spiruline en fonction de la vitesse de cisaillement.

	Temps s	Température °C	Contrainte Pa	Gradient de vitesse 1/s	Viscosité Pas	Gradient de Vitesse Cible 1/s
1, 1	10.02	25	5.067	0.07162	70.75	0.0716
1, 2	20.08	25	5.826	0.09798	59.46	0.09838
1, 3	30.18	25	6.641	0.1346	49.35	0.1352
1, 4	40.24	25	7.668	0.1849	41.47	0.1858
1, 5	50.3	25	8.926	0.2542	35.12	0.2552
1, 6	60.36	25	10.54	0.3493	30.16	0.3507
1, 7	70.47	25	12.53	0.4799	26.12	0.4819
1, 8	80.57	25	14.96	0.6593	22.69	0.6622
1, 9	90.64	25	17.38	0.9058	19.18	0.9099
1, 10	100.7	25	19.33	1.245	15.53	1.25
1, 11	110.8	25	20.99	1.71	12.28	1.718
1, 12	120.9	25	22.66	2.35	9.64	2.361
1, 13	131	25	24.39	3.229	7.551	3.244
1, 14	141	25	26.23	4.437	5.91	4.457
1, 15	151.1	25	28.42	6.097	4.661	6.124
1, 16	161.2	25	31.27	8.378	3.732	8.415
1, 17	171.3	25	34.17	11.51	2.969	11.56
1, 18	181.4	25	37.85	15.82	2.393	15.89
1, 19	191.4	25	42.19	21.73	1.941	21.83
1, 20	201.5	25	47.57	29.87	1.593	30

Tableau 07 : Évolution de la viscosité et la contrainte pour la purée avec 8% de farine de dattes et 1% de spiruline en fonction de la vitesse de cisaillement.

	Temps s	Température °C	Contrainte Pa	Gradient de vitesse 1/s	Viscosité Pas	Gradient de Vitesse Cible 1/s
1, 1	10.02	25	8.151	0.07184	113.4	0.0716
1, 2	20.1	25	9.989	0.09802	101.9	0.09838
1, 3	30.16	25	11.57	0.1345	86.06	0.1352
1, 4	40.23	25	13.17	0.1848	71.26	0.1858
1, 5	50.29	25	14.83	0.2541	58.35	0.2552
1, 6	60.39	25	16.42	0.3492	47.01	0.3507
1, 7	70.5	25	17.97	0.4798	37.46	0.4819
1, 8	80.57	25	19.51	0.6592	29.59	0.6622

Annexe 03. Résultats des analyses physico-chimiques

1, 9	90.63	25	21.22	0.9058	23.42	0.9099
1, 10	100.7	25	22.99	1.245	18.47	1.25
1, 11	110.8	25	25.18	1.71	14.72	1.718
1, 12	120.9	25	28.11	2.35	11.96	2.361
1, 13	131	25	31.09	3.229	9.626	3.244
1, 14	141	25	34.58	4.437	7.792	4.457
1, 15	151.1	25	38.7	6.097	6.347	6.124
1, 16	161.2	25	44.3	8.378	5.288	8.415
1, 17	171.3	25	50.42	11.51	4.38	11.56
1, 18	181.4	25	57.42	15.82	3.63	15.89
1, 19	191.4	25	66.39	21.73	3.055	21.83
1, 20	201.5	25	76.84	29.87	2.573	30

Tableau 08 : Évolution de la viscosité et la contrainte pour la purée avec 7% de farine de dattes et 3% de spiruline en fonction de la vitesse de cisaillement.

	Temps s	Température °C	Contrainte Pa	Gradient de vitesse 1/s	Viscosité Pas	Gradient de Vitesse Cible 1/s
1, 1	10.02	25	5.236	0.07145	73.28	0.0716
1, 2	20.09	25	6.002	0.098	61.24	0.09838
1, 3	30.16	25	6.744	0.1345	50.14	0.1352
1, 4	40.22	25	7.602	0.1849	41.1	0.1858
1, 5	50.28	25	8.562	0.2541	33.69	0.2552
1, 6	60.38	25	9.774	0.3491	27.99	0.3507
1, 7	70.49	25	11.18	0.4798	23.31	0.4819
1, 8	80.55	25	13.03	0.6593	19.77	0.6622
1, 9	90.61	25	14.97	0.9058	16.53	0.9099
1, 10	100.7	25	16.73	1.245	13.45	1.25
1, 11	110.8	25	18.35	1.71	10.73	1.718
1, 12	120.9	25	19.55	2.35	8.318	2.361
1, 13	130.9	25	20.82	3.229	6.447	3.244
1, 14	141	25	22.01	4.437	4.961	4.457
1, 15	151.1	25	23.75	6.097	3.895	6.124
1, 16	161.2	25	25.85	8.378	3.085	8.415
1, 17	171.3	25	27.8	11.51	2.415	11.56
1, 18	181.3	25	30.44	15.82	1.924	15.89
1, 19	191.4	25	33.3	21.73	1.532	21.83
1, 20	201.5	25	37.05	29.87	1.241	30

La couleur

Dégustateurs	1% de fd	3% de fd	5% de fd	7% de fd	8% de fd	9% de fd
1	6	5	3	4	3	2
2	5	4	3	3	2	2
3	4	1	1	1	1	1
4	3	6	5	5	4	3
5	6	6	6	6	4	3
6	9	7	7	8	9	9
7	8	5	4	6	7	7
8	7	5	1	1	1	1
9	7	8	8	4	3	1
10	6	7	7	9	9	9
11	6	7	8	9	8	6
12	7	5	7	4	6	7
13	4	4	5	7	6	7
14	7	5	3	2	2	1
15	1	2	1	6	6	5
16	7	5	5	3	2	1
17	7	7	7	5	3	1
18	3	5	5	4	5	5
19	7	6	4	3	1	1
20	7	7	4	5	4	3
M	5,85	5,35	4,7	4,75	4,3	3,75

L'odeur

Dégustateurs	1% de fd	3% de fd	5% de fd	7% de fd	8% de fd	9% de fd
1	7	6	4	5	5	3
2	8	5	2	2	2	2
3	3	2	2	1	1	1
4	5	6	4	4	3	3
5	9	8	8	8	7	8
6	9	8	7	7	6	4
7	5	4	3	4	3	3
8	8	5	5	2	2	1
9	5	5	2	1	1	1
10	5	3	3	6	5	5
11	7	3	2	2	1	1
12	6	4	5	3	2	2
13	6	5	5	3	3	2
14	7	5	3	2	2	1
15	2	1	2	3	3	3
16	6	6	6	3	2	1
17	6	5	6	5	4	1
18	2	4	4	5	5	4
19	8	7	4	4	2	3
20	6	6	4	4	3	3
M	6	4,9	4,05	3,7	3,1	2,6

Le goût

Dégustateurs	1% de fd	3% de fd	5% de fd	7% de fd	8% de fd	9% de fd
1	3	6	6	7	7	8
2	2	4	5	7	7	8
3	3	3	5	5	6	3
4	5	3	5	5	5	4
5	4	2	3	8	7	6
6	4	1	3	8	8	9
7	3	1	2	3	5	5
8	3	6	7	7	8	7
9	3	5	6	7	7	8
10	2	2	2	4	4	3
11	5	2	3	4	4	4
12	4	4	4	5	5	8
13	2	4	5	8	8	7
14	3	1	2	3	4	3
15	5	6	7	7	8	8
16	3	2	4	5	5	5
17	5	4	5	7	6	6
18	3	3	3	3	3	4
19	4	1	2	3	3	3
20	2	2	4	6	6	6
M	3,4	3,1	4,15	5,6	5,8	5,75

La consistance

Dégustateurs	1% de fd	3% de fd	5% de fd	7% de fd	8% de fd	9% de fd
1	4	5	5	6	7	7
2	7	7	4	7	6	6
3	5	5	5	5	5	5
4	6	6	6	7	6	5
5	6	7	6	9	4	4
6	8	8	8	8	9	9
7	5	5	4	4	5	5
8	7	5	6	7	7	6
9	5	4	4	3	3	3
10	5	3	4	3	3	3
11	4	4	4	2	2	1
12	5	5	7	5	4	3
13	5	4	5	6	6	7
14	7	4	2	5	3	2
15	1	5	4	6	5	5
16	5	7	7	6	9	7
17	7	7	7	7	7	7
18	4	5	4	2	4	4
19	8	6	4	3	3	7
20	5	5	5	6	6	5
M	5,45	5,35	5,05	5,35	5,2	5,05

L'appréciation générale

Dégustateurs	1% de fd	3% de fd	5% de fd	7% de fd	8% de fd	9% de fd
1	1	6	6	9	8	8
2	6	4	5	7	7	8
3	5	3	5	5	6	3
4	2	3	5	5	5	4
5	1	2	3	8	8	8
6	1	1	3	8	8	9
7	4	1	2	3	5	5
8	2	6	7	7	8	7
9	1	5	7	7	7	8
10	1	2	2	4	4	3
11	1	2	3	4	4	4
12	5	4	4	5	5	8
13	3	4	6	8	8	7
14	1	1	2	3	5	3
15	6	6	7	7	7	8
16	2	2	5	5	5	5
17	4	4	5	7	6	6
18	1	2	2	3	3	4
19	1	1	2	3	3	2
20	2	2	4	6	6	6
M	2,5	3,05	4,25	5,7	5,9	5,8

La couleur de 7% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1% de sp	Dose de 3% de sp	Dose de 5% de sp	Dose de 7% de sp	Dose de 9%de sp
1	9	6	4	3	2	1
2	9	5	3	3	2	2
3	8	3	1	1	1	1
4	9	9	8	9	9	9
5	7	8	2	1	1	1
6	6	7	8	7	7	8
7	8	7	5	5	5	6
8	8	3	6	2	2	1
9	9	5	4	4	2	1
10	5	6	6	7	8	8
11	8	7	6	5	4	3
12	5	6	6	7	4	1
13	6	7	6	7	4	1
14	9	3	7	8	6	5
15	9	8	7	6	5	4
16	9	8	8	7	6	6
17	9	8	8	7	6	6
18	8	7	7	5	6	3
19	5	5	7	8	9	9
20	6	4	8	1	1	1
M	7,6	6,1	5,85	5,15	4,5	3,85

Annexe 05. Résultats de l'analyse sensorielle de la purée à la spiruline

L'odeur de 7% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1% de sp	Dose de 3% de sp	Dose de 5% de sp	Dose de 7% de sp	Dose de 9% de sp
1	9	5	5	4	3	3
2	9	6	3	3	3	2
3	9	5	1	1	1	1
4	9	5	5	4	3	2
5	9	8	2	1	4	1
6	5	5	6	6	5	5
7	7	6	6	3	2	1
8	8	7	3	1	2	2
9	9	8	8	4	3	2
10	4	3	4	6	8	8
11	8	7	5	4	4	2
12	8	6	5	7	3	1
13	8	6	6	7	3	1
14	9	5	6	3	8	3
15	9	8	7	6	5	4
16	9	8	7	6	5	4
17	9	8	7	6	4	4
18	8	5	5	5	5	3
19	4	2	7	7	7	9
20	7	3	1	1	1	1
M	7,85	5,8	4,95	4,25	3,95	2,95

Annexe 05. Résultats de l'analyse sensorielle de la purée à la spiruline

Le goût de 7% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1% de sp	Dose de 3% de sp	Dose de 5% de sp	Dose de 7% de sp	Dose de 9% de sp
1	9	3	3	2	1	1
2	8	3	4	3	3	2
3	3	2	7	1	1	1
4	9	6	8	7	3	2
5	7	2	5	1	1	1
6	6	5	7	7	6	2
7	8	4	7	3	2	1
8	2	2	2	1	1	1
9	9	2	3	1	1	1
10	6	4	4	3	2	1
11	8	6	7	5	5	3
12	5	5	6	6	3	1
13	5	5	6	7	3	2
14	8	7	4	8	8	3
15	9	7	8	6	5	4
16	9	8	9	5	5	5
17	9	8	9	7	4	4
18	8	7	7	5	5	3
19	5	5	2	6	7	5
20	6	1	2	1	1	1
M	6,95	4,6	5,5	4,25	3,35	2,2

La consistance de 7% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1% de sp	Dose de 3% de sp	Dose de 5% de sp	Dose de 7% de sp	Dose de 9% de sp
1	9	7	4	3	3	3
2	7	6	6	7	7	8
3	7	2	1	1	1	1
4	8	8	8	8	5	3
5	6	7	2	1	2	1
6	6	9	8	8	8	8
7	8	7	7	7	7	6
8	4	6	5	3	3	3
9	9	8	7	5	4	3
10	5	4	4	6	7	7
11	7	5	5	6	5	8
12	6	5	4	6	2	1
13	7	5	4	6	3	2
14	1	3	5	6	8	9
15	9	8	7	6	5	4
16	9	6	6	7	8	8
17	9	6	7	7	7	6
18	7	7	8	7	7	7
19	6	6	7	8	8	8
20	9	8	8	9	9	9
M	6,95	6,15	5,65	5,85	5,45	5,25

L'appréciation générale de 7% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1% de sp	Dose de 3% de sp	Dose de 5% de sp	Dose de 7% de sp	Dose de 9% de sp
1	9	4	6	4	2	2
2	7	4	5	4	3	3
3	7	1	3	1	1	1
4	8	6	6	5	4	2
5	5	2	4	1	2	1
6	7	5	8	4	4	2
7	8	6	7	4	2	2
8	4	4	3	3	3	3
9	9	5	6	3	3	1
10	5	4	4	6	6	5
11	8	6	7	5	5	3
12	7	3	7	5	2	1
13	7	3	7	5	3	3
14	7	5	4	7	9	4
15	9	8	8	7	5	4
16	9	7	6	7	6	6
17	9	9	6	8	5	5
18	8	7	7	5	7	3
19	5	5	6	7	8	8
20	7	1	2	1	1	1
M	7,25	4,75	5,6	4,6	4,05	3

Annexe 05. Résultats de l'analyse sensorielle de la purée à la spiruline

La couleur de 8% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1%de sp	Dose de 3%de sp	Dose de 5%de sp	Dose de 7%de sp	Dose de 9%de sp
1	9	5	6	6	6	6
2	7	5	8	8	5	9
3	9	6	5	5	4	3
4	9	7	8	6	8	8
5	5	6	6	1	1	1
6	8	7	4	4	2	1
7	6	6	4	2	4	3
8	7	1	1	2	2	1
9	8	7	6	3	2	1
10	9	6	7	5	6	1
11	9	9	8	8	8	8
12	8	6	7	6	7	7
13	7	7	6	5	6	3
14	6	7	5	6	4	3
15	7	6	5	4	3	2
16	4	6	7	6	4	3
17	6	5	4	5	5	3
18	6	4	3	3	3	3
19	3	6	6	6	7	9
20	5	4	4	3	3	3
M	6,9	5,8	5,5	4,7	4,5	3,9

L'odeur de 8% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1%de sp	Dose de 3%de sp	Dose de 5%de sp	Dose de 7%de sp	Dose de 9%de sp
1	9	7	4	4	5	6
2	8	4	6	7	6	8
3	9	8	7	8	6	6
4	8	7	7	7	7	8
5	5	7	5	1	1	1
6	7	7	4	4	2	1
7	7	5	4	4	2	1
8	9	1	1	3	3	2
9	8	8	6	4	2	1
10	8	6	5	4	3	1
11	8	7	6	6	5	5
12	8	6	6	7	6	6
13	7	7	5	5	5	6
14	7	5	5	5	3	4
15	6	6	4	4	3	2
16	7	7	6	5	3	2
17	6	4	4	4	4	6
18	4	3	4	3	3	3
19	4	2	4	3	5	5
20	5	6	5	5	6	5
M	7	5,65	4,9	4,65	4	3,95

Le goût de 8% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1%de sp	Dose de 3%de sp	Dose de 5%de sp	Dose de 7%de sp	Dose de 9%de sp
1	8	4	5	4	2	7
2	8	4	7	5	4	9
3	7	6	7	8	6	6
4	9	7	7	6	6	8
5	2	7	2	1	1	1
6	8	8	3	3	2	1
7	5	2	2	1	3	1
8	6	1	1	2	1	1
9	8	8	7	3	2	1
10	9	6	7	4	3	1
11	8	7	6	7	5	4
12	9	7	7	6	6	7
13	7	6	5	5	4	3
14	8	5	6	5	5	3
15	6	7	5	5	4	3
16	7	7	5	4	4	3
17	5	4	4	3	3	1
18	3	7	6	5	7	7
19	2	1	3	4	4	3
20	1	1	2	4	6	6
M	6,3	5,25	4,85	4,25	3,9	3,8

La consistance de 8% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1%de sp	Dose de 3%de sp	Dose de 5%de sp	Dose de 7%de sp	Dose de 9%de sp
1	7	6	3	3	2	7
2	4	6	9	7	5	9
3	6	6	6	6	6	6
4	8	7	8	8	7	9
5	6	7	4	4	2	2
6	8	8	3	3	3	2
7	5	5	3	3	3	3
8	1	9	8	8	8	8
9	7	6	5	6	4	4
10	6	8	7	7	5	5
11	7	7	7	7	6	5
12	7	6	8	8	6	8
13	7	6	7	8	8	8
14	6	7	6	5	7	6
15	6	7	7	7	7	8
16	7	8	7	6	7	6
17	6	5	3	3	3	3
18	4	4	5	5	5	5
19	7	4	5	5	5	6
20	7	3	3	5	7	6
M	6,1	6,25	5,7	5,7	5,3	5,8

L'appréciation générale de 8% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1%de sp	Dose de 3%de sp	Dose de 5%de sp	Dose de 7%de sp	Dose de 9%de sp
1	7	5	4	3	2	5
2	8	5	8	7	5	9
3	8	7	7	7	6	7
4	8	7	8	8	8	9
5	5	7	4	2	2	3
6	8	8	3	3	2	1
7	7	4	3	3	1	1
8	8	2	3	4	4	3
9	8	7	6	4	3	2
10	8	6	8	4	3	1
11	7	7	6	7	5	4
12	8	7	8	8	8	7
13	7	6	6	5	4	4
14	7	6	7	6	6	5
15	6	6	6	5	5	2
16	8	8	7	6	5	5
17	6	5	4	4	2	2
18	5	5	6	6	6	6
19	5	3	4	4	3	5
20	5	4	4	5	6	6
M	6,95	5,75	5,6	5,05	4,3	4,35

La couleur de 9% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1% de sp	Dose de 3% de sp	Dose de 5% de sp	Dose de 7% de sp	Dose de 9% de sp
1	7	5	5	3	6	3
2	9	5	4	3	3	6
3	9	4	1	1	2	1
4	7	3	6	4	7	3
5	8	6	6	6	6	3
6	9	9	7	7	9	9
7	9	8	5	4	3	3
8	7	7	5	1	1	1
9	5	7	8	8	4	1
10	4	6	7	7	9	9
11	4	6	7	8	9	9
12	8	7	5	7	4	7
13	4	4	4	5	7	7
14	9	7	5	3	2	1
15	7	1	2	1	6	5
16	8	7	5	5	3	1
17	8	7	7	7	5	1
18	6	3	5	5	4	5
19	8	7	6	4	3	2
20	5	7	7	4	5	3
M	7,05	5,8	5,35	4,65	4,9	4

L'odeur de 9% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1% de sp	Dose de 3% de sp	Dose de 5% de sp	Dose de 7% de sp	Dose de 9% de sp
1	8	7	6	4	5	6
2	9	7	5	2	2	2
3	9	3	1	1	1	1
4	6	5	6	4	7	3
5	9	7	6	9	9	9
6	8	9	8	8	8	9
7	9	5	4	3	3	3
8	6	8	5	5	2	1
9	9	5	5	2	1	1
10	9	5	3	3	6	5
11	8	7	3	3	5	4
12	9	6	4	5	3	2
13	9	3	3	3	6	2
14	9	7	5	3	2	1
15	4	1	1	2	3	3
16	8	6	6	6	3	1
17	8	6	5	6	5	1
18	6	2	4	4	5	4
19	7	8	7	4	4	3
20	5	6	6	4	4	3
M	7,75	5,65	4,65	4,05	4,2	3,2

Le goût de 9% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1%de sp	Dose de 3%de sp	Dose de 5% de sp	Dose de 7%de sp	Dose de 9%de sp
1	6	7	8	7	8	6
2	8	4	4	2	1	1
3	9	1	1	1	1	1
4	6	4	6	6	5	3
5	9	6	6	6	6	4
6	7	8	8	8	8	9
7	9	4	3	3	3	4
8	5	6	5	2	1	1
9	6	3	3	2	2	1
10	6	4	2	3	2	2
11	6	2	2	3	3	1
12	7	5	4	5	3	2
13	6	3	3	3	2	2
14	9	7	4	2	2	1
15	2	1	2	1	3	3
16	8	6	6	5	4	2
17	8	7	7	8	5	1
18	5	3	3	4	2	2
19	7	6	6	5	3	1
20	6	7	8	5	6	2
M	6,75	4,7	4,68	4,05	3,5	2,45

La consistance de 9% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1% de sp	Dose de 3% de sp	Dose de 5% de sp	Dose de 7% de sp	Dose de 9% de sp
1	5	4	5	4	6	4
2	7	7	7	4	7	6
3	5	5	5	5	5	5
4	4	6	6	6	7	5
5	6	6	7	6	9	4
6	8	8	8	9	7	9
7	5	5	5	4	4	5
8	7	7	5	7	7	6
9	7	5	4	3	2	2
10	8	5	3	4	3	3
11	7	4	4	4	2	1
12	6	5	5	7	5	3
13	8	5	5	4	4	3
14	9	4	4	2	2	2
15	3	1	5	4	6	2
16	8	5	7	7	6	7
17	8	7	7	7	7	3
18	7	4	5	4	2	3
19	7	8	6	4	3	1
20	6	5	5	5	6	4
M	6,55	5,3	5,4	5	5	5,1

L'appréciation générale de 9% fd avec différentes doses de sp

Dégustateurs	Témoin	Dose de 1% de sp	Dose de 3% de sp	Dose de 5% de sp	Dose de 7% de sp	Dose de 9% de sp
1	6	7	7	5	8	6
2	9	6	6	3	2	1
3	8	3	2	1	2	1
4	6	5	6	5	6	4
5	8	6	7	7	8	5
6	8	8	8	8	7	9
7	8	6	5	4	3	5
8	7	7	5	4	4	3
9	8	4	4	3	2	1
10	8	5	4	4	1	1
11	8	6	5	4	2	1
12	8	6	5	4	4	1
13	8	5	3	3	2	2
14	9	6	4	2	1	1
15	7	1	3	2	3	5
16	8	6	6	6	5	3
17	9	8	6	6	5	2
18	8	5	5	3	3	4
19	8	6	6	4	3	2
20	6	6	6	5	5	3
M	7,75	5,6	5,15	4,15	3,8	3