

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université SAAD DAHLAB - Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie et Physiologie Cellulaire

### **Mémoire de fin d'études**

**En vue d'obtention du diplôme de Master Académique dans le domaine SNV**

**Filière sciences biologiques**

**Option : Biochimie**

**Thème**

**ETUDE DES PROPRIETES BIOCHIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES  
D'UN PRODUIT DE SOIN DERMATOLOGIQUE A BASE DE SPIRULINE.**

**Présenté par :**

**Soutenu le : 14 /07/2021**

- **Mlle MERAH Hadjira**
- **Mlle BOUZOUIDJA Lynda**

**Devant le jury composé de :**

- |                         |     |       |              |
|-------------------------|-----|-------|--------------|
| • Mme Mohamed mahmoud.F | MCB | USDB1 | Présidente   |
| • Mme Tobal Seghir.S    | MAA | USDB1 | Examinatrice |
| • Mme Touaibia.M        | MCA | USDB1 | Promotrice   |

**Promotion 2020/2021**

## REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui nous a aidé, nous aide et nous aidera en nous donnant la patience, le courage et la force durant ces longues années d'étude, ce qui nous a permis d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons d'abord à remercier Madame *Mohamed Mahmoud.F*, qui nous fait l'honneur de présider ce jury, Vous méritez notre entière reconnaissance.

À Madame *Tobal Sghir.S*, à qui nous présentons nos remerciements les plus sincères, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire, mais aussi pour tous les efforts consentis afin de nous transmettre les connaissances nécessaires à notre formation et de nous inculquer les bonnes valeurs tout au long de notre parcours à l'université

Nous remercions très chaleureusement notre promotrice madame *Touaibia.M* :

On a eu l'honneur d'être parmi vos élèves et ainsi bénéficier de votre riche enseignement. Vos qualités pédagogiques et humaines sont pour nous un modèle. Votre gentillesse et votre disponibilité permanente ont toujours suscité notre admiration. Qu'elle trouve ici l'expression de notre sincère gratitude.

À toute l'équipe du laboratoire venus Sapeco Blida (*Ramzi, Ilyes et Oussama*) pour leur soutien et particulièrement à Monsieur *Boudissa Hichem* pour sa disponibilité et son aide.

Un remerciement particulier à monsieur le Pr. *Hadj Sadouk.A* pour sa précieuse aide, sa disponibilité et sa gentillesse.

Nous ne manquons pas aussi de remercier monsieur le Pr. *Snoussi.S* pour nous avoir ouvert les portes de son laboratoire.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

## DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail :*

*Aux personnes les plus chères au monde :*

*A mon très cher père, merci d'être là pour moi, de m'avoir montré le chemin, d'être patient avec moi même dans les moments difficiles, de croire en moi et de m'encourager à faire de mon mieux. Ce travail est le résultat de l'esprit de sacrifice dont vous avez fait preuve, de l'encouragement et le soutien que vous ne cessez de manifester, j'espère que vous y trouverez les fruits de votre semence et le témoignage de ma grande fierté de vous avoir comme père.*

*A ma très chère mère, qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien et tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mon amour et de mon éternelle gratitude.*

*A ma très chère sœur, Yasmine, qui a été toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, grâce à toi Je sais ce qu'est le bonheur d'avoir une grande sœur sur laquelle on peut compter, Je te dis merci énormément et je te souhaite réussite et prospérité, Puissent nos liens fraternels se consolider encore plus.*

*A mon binôme, ma meilleure amie, Lynda, sans qui rien n'aurait été pareil. Cette année fut riche en émotions, je tiens à te remercier ainsi que ta famille pour votre soutien, j'espère que ce sera le début d'un grand succès dans ta vie.*

*A mes meilleures amies, Nada et Romaisa, vous êtes pour moi des sœurs sur lesquelles je peux toujours compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé, de bonheur et de réussite.*

*A mes cousines, mes sœurs, Yasari et Abir, merci d'être à mes côtés quand les temps étaient durs, merci de me faire rire quand je ne voulais pas sourire.*

*A mes cousins, mes frères, Hmida, Abdennour et Hichem merci d'avoir été là pour moi tout au long de ce travail.*

*A toute ma famille*

*Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements. Que Dieu le Tout Puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.*

*A la mémoire de mes grands-mères, J'aurais tant aimé que vous soyez présentes. Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde.*

*Enfin, A moi-même, pour avoir été patiente durant tout le cursus universitaire, et d'avoir travaillé durement pour l'accomplissement de ce dur travail.*



**Merah  
Hadjira**

## DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail :*

*Aux personnes les plus chères dans ma vie, à mes parents, pour avoir fait ce que je suis, sans vous je n'y serais jamais arrivée.*

### *À mon très cher père*

*Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir.*

### *À ma très chère mère*

*Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime.*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance, que ce travail soit le fruit de vos prières et sacrifices, et que Dieu tout puissant vous procure santé, bonheur et longue vie.*

*À mon cher frère Mourad, le généreux au cœur immense, je lui souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, le protège et le garde.*

*À ma grand-mère adorée j'aimerais te remercier de tout cet amour que tu me portes à moi, sans jamais rien demander en retour, que dieu te protège et te bénisse.*

*À toute ma famille, pour leur soutien et encouragements tout au long de mon parcours universitaire, veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère, et en particulier à mon cher oncle Farouk, pour avoir contribué à ma réussite et pour m'avoir soutenu et cru en moi.*

*À la mémoire de mes grands-parents.*

*À mon binôme, ma meilleure amie, Marwa, que j'adore énormément pour ses efforts et son soutien pour moi, que dieu la protège et toute sa famille.*

*À mes meilleurs amies, Meriem, Chaima, Rayen, Nada, Romaiassa, ainsi que toute mes cousines, je vous aime beaucoup.*

*À tous ceux qui me sont chers et que j'aime.*

*Enfin, à moi-même, pour avoir été si forte durant tout le cursus universitaire, et d'avoir travaillé durement pour l'accomplissement de ce dur travail.*



Bouzouidja  
Lynda

## RESUME

La spiruline de par ses multiples vertus et sa richesse en protéines, en minéraux, en acides gras essentiels, en vitamines, a été utilisée dans le domaine de l'agroalimentaire depuis l'antiquité et a révolutionné celui du cosmétique. Aussi, en raison de tous ses éléments, notre choix a porté sur la préparation d'un gel pour application dermique, un tel produit de soin dermatologique pourrait rendre vitalité et tonicité à la peau.

La conception de ce gel pour application dermique a été effectuée en testant trois formulations à base de la poudre de spiruline avec différentes concentrations, par la suite, nous avons réalisé une extraction de la phycocyanine à partir de la poudre de spiruline, dans le but d'élaborer un essai de formulation d'un gel lavant.

L'étude des paramètres organoleptiques nous a permis de constater que l'aspect général est étroitement lié à la texture, la granulométrie et le pourcentage de poudre de spiruline utilisée.

Le contrôle de la qualité des préparations réalisées a nécessité la prise en considération de plusieurs paramètres physico-chimiques, tels la mesure du pH, de la viscosité, de la densité, ainsi que la vérification d'une éventuelle contamination du produit par des germes contaminants. Cette dernière a été particulièrement enregistrée dans le gel 1, et s'est manifestée sous forme de film bleuâtre développé à la surface du gel associé à l'émission d'une odeur désagréable.

L'examen microscopique des gels préparés a dévoilé la présence de plusieurs agglomérats. Cette mauvaise distribution des particules de spiruline dans les gels et plus particulièrement dans le gel 3, semble être étroitement liée à la granulométrie de la poudre utilisée ou bien à une homogénéisation insuffisamment établie lors de la procédure de formulation.

De plus, l'analyse rhéologique a permis de vérifier la stabilité de la texture du gel ainsi que sa résistance à l'écoulement, ce qui nous a permis de mieux comprendre son comportement rhéofluidifiant. Ce caractère est souvent associé à un bon étalement du gel.

Enfin, nous avons procédé à un test du pouvoir anti-oxydant, pour mettre en évidence l'action de piégeage du peroxyde d'hydrogène exercée par les particules spiruline en milieu réactionnel. Une réponse positive a été clairement observée pour le gel 3.

Les résultats obtenus, à partir des différents tests réalisés, font ressortir que l'intégration de la spiruline dans un gel à utilisation dermique est possible et que la troisième formulation du gel conçu, est la plus stable et la plus prometteuse pour une investigation plus approfondie dans le futur.

Cette étude reste préliminaire, dans la mesure où d'autres contrôles sont indispensables pour la mise sur le marché de ce gel, et ce afin d'éviter tout risque sur la santé humaine.

Mots clés : Spiruline, organoleptique, physico-chimique, microbiologique, rhéologique, anti-oxydant.

## ABSTRACT

Spirulina, due to its multiple virtues and its richness in proteins, minerals, essential fatty acids and vitamins, has been used in the food industry since antiquity and has revolutionized that of cosmetics. Also, because of all its elements, our choice fell on the preparation of a gel for dermal application, such a dermatological care product could restore vitality and tone to the skin.

The design of this gel for dermal application was carried out by testing three formulations based on spirulina powder with different concentrations, subsequently; we carried out an extraction of phycocyanin from the spirulina powder, with the aim of to develop a formulation test for a washing gel.

The study of the organoleptic parameters has allowed us to observe that the general appearance is closely linked to the texture, the particle size and the percentage of spirulina powder used.

The quality control of the preparations made required the consideration of several physicochemical parameters, such as the measurement of pH, viscosity, density, as well as the verification of possible contamination of the product by contaminating germs. The latter was particularly recorded in gel 1, and manifested as a bluish film developed on the surface of the gel associated with the emission of an unpleasant odor.

Microscopic examination of the prepared gels revealed the presence of several conglomerates. This poor distribution of the spirulina particles in the gels and more particularly in the gel 3 seems to be closely linked to the particle size of the powder used or else to a homogenization insufficiently established during the formulation procedure.

In addition, the rheological analysis made it possible to verify the stability of the gel's texture as well as its resistance to flow, which allowed us to better understand its shear-thinning behavior. This character is often associated with good spreading of the gel.

Finally, we carried out an antioxidant power test to demonstrate the trapping action of hydrogen peroxide exerted by the spirulina particles in the reaction medium. A positive response was clearly observed for gel 3.

The results obtained, from the various tests carried out, show that the integration of spirulina in a gel for dermal use is possible and that the third formulation of the gel designed is the most stable and the most promising for a more in-depth investigation in the future.

This study remains preliminary, insofar as other controls are essential for the marketing of this gel, in order to avoid any risk to human health.

**Keywords:** Spirulina, organoleptic, physicochemical, microbiological, rheological, antioxidant.

## الملخص

سيبرولينا ، بسبب مزاياها المتعددة وغناها بالبروتينات والمعادن والأحماض الدهنية الأساسية والفيتامينات ، تم استخدامها في صناعة الأغذية منذ العصور القديمة وأحدثت ثورة في صناعة مستحضرات التجميل. أيضًا، نظرًا لجميع عناصرها، وقع اختيارنا على تحضير جل ذو استعمال جلدي، يمكن لمنتج العناية بالبشرة هذا أن يعيد اللون والحيوية إلى البشرة.

تم اعداد هذا الجل للتطبيق الجلدي عن طريق اختبار ثلاث تركيبات تعتمد على مسحوق سيبرولينا بتركيزات مختلفة ، وبعد ذلك أجرينا استخراج الفيكوسيانين من مسحوق سيبرولينا ، بهدف اختبار تطوير صياغة لجل التنظيف.

سمحت لنا دراسة المعلمات الحسية بملاحظة أن المظهر العام يرتبط ارتباطًا وثيقًا بالنسيج وحجم الجسيمات والنسبة المئوية لمسحوق سيبرولينا المستخدم.

تتطلب مراقبة جودة المستحضرات التي تم تصنيعها، النظر في العديد من المعلمات الفيزيائية والكيميائية، مثل قياس الحموضة واللزوجة والكثافة، فضلاً عن التحقق من التلوث المحتمل للمنتج عن طريق الجراثيم. تم تسجيل هذا الأخير بشكل خاص في جل 1 ، ويتجلى في صورة طبقة مزرقّة تطورت على سطح الجل المرتبطة بانبعثات رائحة كريهة.

كشف الفحص المجهرى للمواد الهلامية المحضرة عن وجود عدة تكتلات. يبدو أن هذا التوزيع الضعيف لجزيئات السيبرولينا في المواد الهلامية وبشكل أكثر تحديداً في الهلام 3 مرتبط ارتباطاً وثيقاً بحجم جسيم المسحوق المستخدم أو بالتجانس غير المؤسس بشكل كافٍ أثناء إجراء الصياغة.

بالإضافة إلى ذلك ، أتاح التحليل الريولوجي إمكانية التحقق من ثبات نسيج الهلام ومقاومته للتدفق ، مما سمح لنا بفهم سلوك ترقق القص بشكل أفضل. غالبًا ما ترتبط هذه الخاصية بالنشر الجيد للجل.

أخيرًا ، أجرينا اختبارًا للقدرة المضادة للأكسدة لإثبات تأثير محاصرة بيروكسيد الهيدروجين الذي تمارسه جسيمات سيبرولينا في وسط التفاعل.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها ، من الاختبارات المختلفة التي تم إجراؤها ، أن دمج سيبرولينا في مادة هلامية للاستخدام الجلدي ممكن وأن الصيغة الثالثة للجل هي الأكثر ثباتًا و واعدة أكثر لإجراء تحقيق أكثر تعمقًا. في المستقبل.

تظل هذه الدراسة أولية، حيث أن الاختبارات الأخرى ضرورية لتسويق هذا الجل، من أجل تجنب أي خطر على صحة الإنسان.

الكلمات المفتاحية: سيبرولينا ، حسي ، فيزيائي ، كيميائي ، ميكروبيولوجي ، ريولوجي ، مضاد للأكسدة.

## LISTE DES ABREVIATIONS

**ADN** : acide désoxyribonucléique.

**AGPI** : acides gras polyinsaturés.

**APx** : Ascorbate peroxydase.

**ARN** : Acide Ribonucléique.

**CAT** : Catalase.

**COVID-19** : Nouveau Coronavirus 2019.

**E/H ou W/O** : Eau dans huile.

**ESA** : European Space Agency.

**GPx** : Glutathion peroxydase.

**H/E ou O/W** : Huile dans l'eau.

**KC** : kathon CG.

**NASA** : National Aeronautics and Space Administration.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**ONU** : Organisation des Nations unies.

**PCA**: Plate Count Agar.

**PEG**: Polyéthylène glycol.

**SIDA** : Syndrome d'Immuno Déficience Acquise.

**SOD** : Super Oxyde Dismutase.

**TEA** : Triéthanolamine.

**UNICEF** : Fonds international de secours à l'enfance des Nations Unies.



## LISTE DES FIGURES

Numéro de la figure	Titre	Page
1	Aspect microscopique de la spiruline	3
2	Organisation spatiale de la spiruline	4
3	Cycle biologique de la Spiruline	5
4	<i>Spirulina platensis</i> observée au microscope optique	6
5	<i>Spirulina maxima</i> observée au microscope optique	6
6	Coupe histologique au niveau de la peau	14
7	Etapas de contrôle du produit fini	19
8	Poudre de spiruline sous emballage	21
9	Aspect de la poudre de Spiruline utilisée	21
10	Schéma de la procédure de formulation du gel à base de poudre de spiruline	23
11	Schéma de la procédure de formulation du gel lavant	25
12	Aspect du 1 <sup>er</sup> gel	33
13	Aspect du 2 <sup>ème</sup> gel	33
14	Aspect du 3 <sup>ème</sup> gel	33
15	Aspect de la couche bleuâtre développée sur la surface du 1 <sup>er</sup> gel après un mois	34
16	L'extrait aqueux de la phycocyanine obtenu après extraction.	35

17	Aspect du gel lavant	36
18	Représentation graphique des valeurs de pH obtenues pour les trois gels formulés	36
19	Représentation graphique des résultats de densités obtenues pour les trois gels formulés	37
20	Représentation graphique des résultats de la viscosité obtenus pour les 3 gels formulés	39
21	Les contaminations présentes dans les boîtes de milieu PCA du 1 <sup>er</sup> et du 2 <sup>ème</sup> gel après 72 heures d'incubation	40
22	Observation microscopique des 3 formulations du gel sous microscope optique	42
23	Courbes d'écoulements des trois formulations de gel	43
24	Fluctuation de la couleur des tubes réactionnels soumis au test anti-oxydant	46
25	Structure d'un gel	Annexe D
26	Logigramme de fabrication d'un gel	Annexe D

## LISTE DES TABLEAUX

Numéro du tableau	Titre	Page
<b>I</b>	Comparaison morpho-anatomiques des genres <i>Spirulina</i> et <i>Arthrospira</i>	5
<b>II</b>	Différentes productions de spiruline et leurs caractéristiques	7
<b>III</b>	Ingrédients utilisés pour la préparation de 100 g du gel à base de spiruline	22
<b>IV</b>	Ingrédients utilisés pour la préparation de 100 g du gel lavant à base de phycocyanine	24
<b>V</b>	Résultats des différents caractères organoleptiques (couleur, odeur et aspect) des trois (03) formulations de gels.	32
<b>VI</b>	Résultats des différents caractères organoleptiques (couleur, odeur et aspect) du gel lavant à base de l'extrait aqueux de phycocyanine	35
<b>VII</b>	Les résultats de la viscosité et de la température des 3 formulations du gel.	38
<b>VIII</b>	Résultats du contrôle microbiologique des 3 formulations du gel.	40
<b>IX</b>	Tableau de la distribution géographique naturelle de la spiruline	Annexe A
<b>X</b>	Analyse d'un milieu de culture typique	Annexe B
<b>XI</b>	Teneur moyenne et principales fonctions des pigments de la spiruline	Annexe C
<b>XI</b>	Les résultats de ph	Annexe F
<b>XIII</b>	Les résultats de densité	Annexe F
<b>XIV</b>	Les données de la courbe d'écoulement du 1 <sup>er</sup> gel	Annexe F
<b>XV</b>	Les données de la courbe d'écoulement du 2 <sup>ème</sup> gel	Annexe F
<b>XVI</b>	Les données de la courbe d'écoulement du 3 <sup>ème</sup> gel	Annexe F

## GLOSSAIRE

### ❖ **Hormogonie :**

C'est un fragment pluricellulaire d'un trichome de cyanobactérie, apparaissant à la faveur de la gélification de cellules spéciales appelées nécridies, chaque hormogonie peut régénérer un trichome complet. Il s'agit d'une forme de multiplication asexuée.

### ❖ **Natronée**

Relatif à la présence excessive du natron minéral composé principalement de carbonate de sodium décahydraté (riche en sel), de formule chimique  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ .

### ❖ **Stratum corneum**

Ou couche cornée, elle correspond à la couche la plus externe de la peau et de l'épiderme.

### ❖ **Ubiquiste**

Ce terme est réservé aux espèces, surtout végétales, que l'on rencontre dans des milieux écologiques très différents.

### ❖ **Un effet occlusif**

Relatif à l'oblitération, il évoque tout ce qui bouche, qui obstrue, exemple : qui forme un film imperméable à la surface de la peau.

**Remarque :** les définitions ci-dessus sont disponibles sur des dictionnaires en ligne dont les liens sont mentionnés dans la liste des références bibliographiques

## TABLE DES MATIERES

Page

Résumé	
Abstract	
الملخص	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Glossaire	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Etude bibliographique</b>	
I.1 Généralités sur la spiruline .....	2
I.1.1.Historique .....	2
I.1.1.1 Histoire de la spiruline en Algérie .....	2
I.1.2.Définition.....	2
I.1.3. Morphologie et caractères généraux .....	3
I.1.4. Reproduction et cycle de vie .....	4
I.1.5.Taxonomie .....	5
I.1.5.1 Principales caractéristiques distinctives des espèces <i>Spirulina maxima</i> et de <i>Spirulina platensis</i> .....	6
I.1.6. Habitat naturel et Répartition géographique .....	7
I.1.7. La production de la spiruline .....	7
I.1.7.1. Conditions chimiques de croissance ou milieu de culture.....	8
I.1.7.2. Conditions physiques de croissance .....	8
I.1.7.3. La production de la spiruline en Algérie .....	9
I.1.8. Composition de la spiruline .....	9
I.1.9. Les domaines d'application de la spiruline.....	11
I.1.9.1. Utilisations pharmaceutiques et thérapeutiques.....	11
I.1.9.2. Utilisation en cosmétologie .....	12
I.1.9.3. Utilisation dans l'industrie agro-alimentaire .....	13
I.2 Généralités sur la peau.....	13
I.2.1 Définition de la peau.....	13
I.2.2 Description des différentes couches de la peau.....	14
I.2.3 Les différents types de peau.....	14
I.2.4 L'absorption cutanée.....	14
I.3. Généralités sur le produit de soin.....	15
I.3.1. Définition d'un produit cosmétique.....	15
I.3.2. Les produits dermo-cosmétiques.....	15

I.3.3. Différentes étapes de la vie d'un produit dermo-cosmétique.....	15
I.3.4. Les formes galéniques d'un produit de soin dermatologique.....	16
I.3.4.1. Les formes semi-solides.....	16
I.3.5. Contrôle de la qualité d'un produit de soin dermatologique.....	18
I.3.5.1 Le contrôle du produit fini.....	18

## **Chapitre II : Partie expérimentale**

II.1. Matériels.....	20
II. 1.1. Matériel biologique.....	20
II. 1.2. Matériel non biologique.....	21
II. 2. Méthodes.....	21
II. 2.1. Conception d'un gel hydratant à base de poudre de spiruline.....	21
II. 2.1.1. Mode opératoire .....	21
II. 2.2. Conception d'un gel lavant à base de phycocyanine .....	23
II. 2.2.1. Préparation d'un extrait aqueux de phycocyanine.....	23
II. 2.2.2. Formulation du gel lavant.....	23
II. 2.2.2.1. Mode opératoire.....	24
II. 2.3. Les contrôles de qualité du produit.....	25
II. 2.3.1. Contrôle Organoleptique.....	25
II. 2.3.2. Les contrôles physico-chimiques.....	25
II. 2.3.2.1. Détermination du pH (potentiel hydrogène) .....	25
II. 2.3.2.1.1. Mode opératoire.....	26
II. 2.3.2.2. Détermination de la densité.....	26
II. 2.3.2.2.1. Mode Opératoire .....	26
II. 2.3.2.3. Détermination de la viscosité.....	26
II. 2.3.2.3.1. Mode opératoire.....	27
II. 2.3.3. Contrôles microbiologiques.....	27
II. 2.3.3.1. Recherche des germes totaux .....	27
II. 2.3.3.1.1. Mode opératoire.....	27
II. 2.3.3.2. Recherche des levures et moisissures.....	28
II. 2.3.3.2.1. Mode opératoire.....	28
II.2.3.4. Analyse microscopique.....	28
II. 2.3.5. Analyse rhéologique.....	28
II. 2.3.5.1. Le Rhéomètre.....	29
II.2.3.5.2. Protocole du test d'écoulement.....	29
II. 2.3.5.3. La courbe d'écoulement.....	30

II. 2.3.6. Test du pouvoir antioxydant .....	30
II. 2.3.6.1. Principe .....	30
II. 2.3.6.2. Mode opératoire.....	31

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

III.1. Résultats des contrôles de qualité du produit.....	31
III.1.1. Résultats des contrôles organoleptiques.....	31
III.1.1.1. Propriétés organoleptiques des gels hydratants formulés.....	31
III.1.1.2. Propriétés organoleptiques du gel lavant.....	35
III.1.2. Résultats des contrôles physico-chimiques.....	36
III.1.2.1. Détermination du pH (potentiel hydrogène) .....	36
III.1.2.2. Détermination de la densité.....	37
III.1.2.3 Détermination de la viscosité.....	38
III.3. Résultats de l'analyse microbiologique.....	39
III.4. Résultats de l'analyse microscopique.....	41
III.5. Résultats de l'analyse rhéologique.....	42
III.6. Résultats du test antioxydant.....	45
Conclusion et perspectives.....	47

Annexes

Références bibliographiques

## INTRODUCTION GENERALE

Depuis l'Antiquité, les extraits d'origine végétale ont été largement utilisés, aussi, les avantages évidents de la nature se traduisent par une modification de nos comportements, en quête non plus de bien-être, mais de mieux-être, A cet effet, on assiste à un essor des produits naturels dans un plus large éventail d'industries, notamment dans l'alimentation et les cosmétiques, répondant ainsi à la nouvelle génération de consommateurs plus conscients et plus préoccupés par ce qui les entoure ( Ragusa et *al.*, 2021).

A cet égard, l'attention des entreprises et des chercheurs du monde entier a été attirée par la demande de composés naturels capables de promouvoir la santé et la beauté de la peau, en particulier le traitement lié au vieillissement et d'assombrissement de la peau, qui sont les principaux soucis chez l'Homme en matière d'esthétique (Sahin, 2018). Ces dernières décennies, un intérêt particulier est porté à l'usage des micro-algues pour la préparation de produits cosmétiques en tant qu'ingrédients biologiques fiables permettant l'amélioration de la santé de la peau, en agissant comme agent anti-âge, anti-oxydant, anti-inflammatoire, anti rides et stimulant du collagène ( Joshi et *al.*,2018).

Parmi les différentes micro-algues, nous nous sommes intéressés à la Spiruline (*Arthrospira platensis*), une cyanobactérie, consommée depuis des temps immémoriaux, et l'une des espèces les plus prometteuses. Elle est considérée comme un aliment sûr pour la consommation humaine, comme en témoignent sa longue histoire d'utilisation alimentaire et les dernières découvertes scientifiques (Soni et *al.*, 2017).

Compte tenu de ses caractéristiques, la Spiruline a fait l'objet d'un développement de cultures dans les régions où elle vit naturellement; en Afrique, en Asie et en Amérique, et également dans des fermes spécialement conçues pour sa production à l'échelle industrielle (Sguera, 2008).

Ces dernières années, la spiruline a attiré une énorme attention, car en plus de son label de micro-algue sans danger, son taux de croissance élevé, sa teneur élevée en acides aminés essentiels, en acides gras essentiels, en oligo-éléments, en minéraux et en vitamines, le fait d'avoir des propriétés anti-oxydantes font d'elle une source attrayante pour l'industrie cosmétique, en vue de son introduction pour la conception des crèmes ou des sérums pour rendre vitalité et tonicité à la peau qui capitalise les effets de tous ces actifs (Ahounou, 2018).

Dans cette optique, nous nous sommes fixées comme objectif, dans ce mémoire, d'étudier pour la première fois, la qualité physico-chimique et microbiologique de gels hydratants formulés à base de poudre de spiruline, ainsi qu'une formulation d'un gel lavant à base de l'extrait aqueux de la spiruline.

Une description globale de la spiruline en spécifiant son historique, ses propriétés, ses qualités et son utilisation dans les différents domaines est présentée dans le premier chapitre, ce dernier renferme aussi quelques généralités sur la peau ainsi que sur les produits de soin dermatologique avec leurs contrôles.

Dans le second chapitre de ce mémoire, une présentation détaillée de la partie expérimentale est exposée, avec d'abord le matériel, puis les méthodes d'analyses adoptées, basées sur des protocoles expérimentaux référencés.

Dans le troisième chapitre, les résultats obtenus des expériences effectuées sont énoncés, ainsi que les discussions et les comparaisons y afférentes.

Pour terminer, aux vues des différents éléments présentés, la question de l'avenir de la spiruline comme ingrédient naturel dans une formulation cosmétique sera discutée.



## Chapitre I

# **ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## I.1 Généralités sur la spiruline

### I.1.1.Historique

Il y a 3,6 milliards d'années, durant le précambrien, les cyanobactéries sont apparues comme étant les premières formes de vie sur terre, elles produisaient de l'oxygène à partir du dioxyde de carbone pour les autres formes de vie présentes à ce moment-là. Elles ont ainsi rendu l'atmosphère respirable permettant une possible vie aérobie, et ont servi de nourriture aux poissons, mammifères marins et à l'espèce humaine (Soizic, 2019).

La spiruline était utilisée dans les temps anciens par plusieurs civilisations, notamment les Aztèques, qui au XVI<sup>e</sup> siècle la collectaient dans le lac Texcoco et l'utilisaient comme source de nourriture dénommée Tecuitlat, ce qui signifie les excréments de la pierre, de même que les populations Kanembous au Tchad au XV<sup>e</sup> siècle, ils filtraient la spiruline du lac Tchad et la mélangeaient pour former un gâteau appelé «Dihe» ou «Die» (Habib et *al.*, 2008).

La reconnaissance, d'une part, par l'OMS et l'UNICEF en 1960 de la spiruline est due essentiellement à ses grandes vertus et fut considérée en 1970 par l'ONU comme le meilleur aliment d'avenir d'autre part. Durant cette même année 1970, le microbiologiste américain *Ripley Fox*, fut le premier à tenter la culture de la spiruline, qui après des résultats positifs, parcourra le monde pour mettre en place des bassins de culture dans les pays où sévit la malnutrition. La commercialisation de la spiruline dans les premiers magasins aux États-Unis fut durant l'année 1979, qui a connu aussi la création d'une firme «*Earthrise Spirulina Compagny*», aujourd'hui leader mondial sur le marché de la spiruline. Depuis les années 80, celle-ci a fait l'objet de plusieurs dizaines d'études scientifiques, par des chercheurs du monde entier, notamment celles par la NASA et l'ESA et on est encore loin de connaître tous les effets bénéfiques d'une consommation quotidienne de Spiruline (Soizic, 2019).

#### I.1.1.1 Histoire de la spiruline en Algérie

Dans les années 1980, le Dr. *Etienne Boileau* fait la découverte, dans la *Guelta Taguemart* (N 23°01.672' - E 5°25.473') dans les environs de la ville de Tamanrasset, d'une algue assez particulière, le Dr. *Ripley FOX* confirma qu'il s'agissait bien de la spiruline. En 1996 le Dr. *HIRI Abdelkader* a commencé à réaliser des expériences sur la culture et la mise au point du milieu de culture de la spiruline sur une souche *Paracas* (souche du Pérou) remise par le Dr. *Jean Paul JOURDAN*, puis à la suite de la découverte de la spiruline dans le Hoggar, il en préleva des fragments et a réussi à la développer dans des bassins, en lui créant son propre milieu de culture (Moulay Lakhdar, 2011).

### I.1.2.Définition

La spiruline est une cyanobactérie microscopique spiralée de couleur bleu-vert (figure 1), photo-autotrophe naturelle qui pousse et se développe dans les lacs alcalins d'eau chaude. C'est une micro-algue qui partage avec les plantes la capacité d'utiliser l'énergie de la lumière pour la photosynthèse (Habib et *al.*, 2008 ; Costa et *al.*, 2017). Cependant, contrairement aux algues et aux plantes également dotées de ce pouvoir photosynthétique, elle appartient à l'embranchement des procaryotes grâce à sa structure qui possède une membrane pluristratifiée de 4 couches et pas de noyau bien individualisé (Cruchot, 2008 ; Manet, 2016).



**Figure 1 :** Aspect microscopique de la spiruline (Asghari et *al.*, 2016)

Selon Cruchot (2008), la spiruline est longtemps restée classée parmi les algues bleu-vert pour les raisons suivantes :

- son habitat aquatique ;
- la présence d'un système photosynthétique producteur d'oxygène ;
- son aptitude à développer des biomasses importantes ;
- sa morphologie proche de celle des algues ;
- sa couleur liée à sa teneur en pigments bleu (phycocyanine) et vert (chlorophylle).

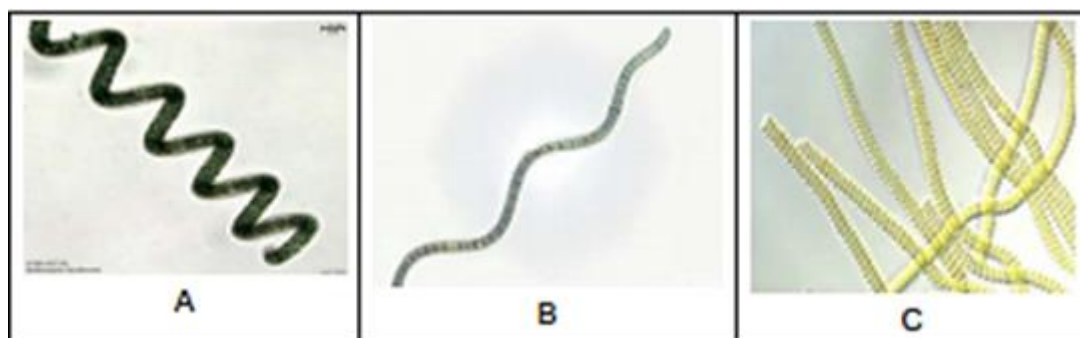
Son nom dérive de la configuration physique spiralée et hélicoïdale de ses filaments, en latin *Spira* signifie enroulement (Kulshreshtha, 2008 ; Karkos, 2011 ; Manet, 2016).

### **I.1.3. Morphologie et caractères généraux**

La spiruline se présente sous la forme d'un filament mobile pluricellulaire bleu-vert, non ramifié et enroulé en spirale. Ce filament est constitué de cellules transparentes qui s'empilent bout à bout pour former un trichome, d'une longueur moyenne de 250  $\mu\text{m}$  lorsqu'il a 7 spires et d'un diamètre d'environ 10  $\mu\text{m}$ . Sa forme hélicoïdale, observable uniquement en milieu liquide, est caractéristique du genre (Ali et al., 2012). Selon Soizic (2019), sa taille va de 50 à 500 $\mu\text{m}$  de long et de 3 à 4  $\mu\text{m}$  de large.

L'enroulement du trichome sur lui-même se fait dans le sens des aiguilles d'une montre lorsque l'on regarde par-dessus la spirale (Muhling et al., 2003). Les facteurs environnementaux, principalement la température, les conditions physiques et chimiques, peuvent affecter la géométrie de l'hélice (Vonshak, 1997). Cette morphologie typique lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis (Charpy et al., 2008).

Cette cyanobactérie montre une grande variété morphologique, on trouve des formes spiralées classiques, ondulées et parfois droites (Figure 2). Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat (Charpy et al., 2008).



**Figure 2 :** Organisation spatiale de la spiruline (Goulamabasse, 2018)

A = Forme spiralée (*Arthrospira fusiformis*) ;

B= Forme ondulée (*Spirulina maxima*) ;

C= forme spiralée (*Arthrospira platensis*).

Cependant, les cyanobactéries ont une paroi cellulaire similaire à celle des bactéries Gram négatives : elles contiennent du peptidoglucane, un hétéro-polymère sensible aux lysozymes qui confèrent la forme et la protection osmotique à la cellule, en plus d'autres matières insensibles aux lysozymes (Habib et *al.*, 2008).

Cruchot (2008) rapporte que contrairement à certaines autres cyanobactéries (*Anabaena*, *Nostoc*), la spiruline ne possède pas les cellules spécialisées permettant la fixation de l'azote de l'air (hétérocystes).

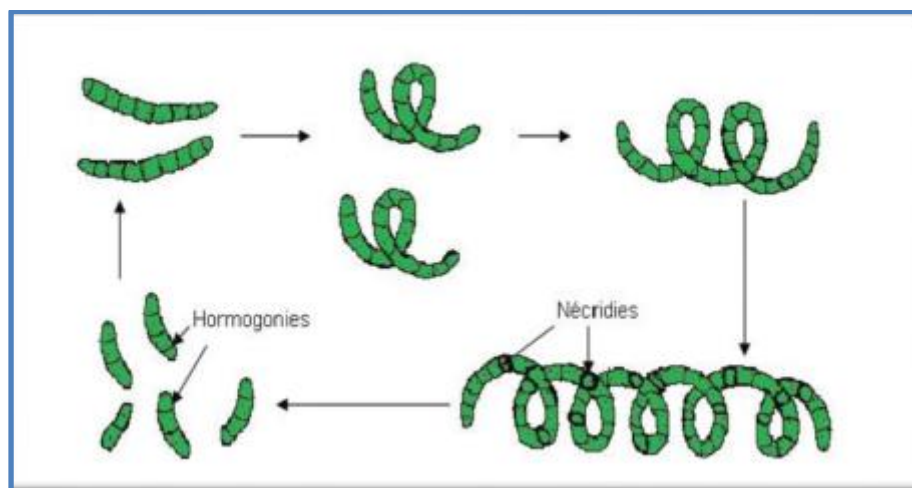
#### **I.1.4. Reproduction et cycle de vie**

Selon les espèces et les conditions environnementales, le temps de doublement des populations varie de quelques heures à plusieurs jours (Sguera, 2008), mais en général, la spiruline se développe de 25% chaque jour et sa quantité double en 4 jours (Manet, 2016).

Sa reproduction est végétative (asexuée) et s'effectue par scission simple, fission binaire ou multiple, par bourgeonnement ou fragmentation au hasard (Soizic, 2019).

Ali et *al* (2012) ont résumés les étapes fondamentales de son cycle de vie (figure 3) de la manière suivante:

- Le filament de Spiruline à maturité forme des cellules spéciales appelées Nécriidies qui se différencient des autres cellules par leurs aspects biconcaves et sont assimilées à des disques de séparation ;
- La fragmentation des trichomes ;
- L'élargissement et la maturation des cellules hormogonales et l'élongation des trichomes (Maturation des trichomes et leurs divisions en filaments ou homogonies) ;
- L'accroissement par fission binaire des cellules des hormogonies et leurs développements dans le sens de la longueur pour qu'elles prennent leur forme hélicoïdale.



**Figure 3 :** Cycle biologique de la Spiruline (Charpy et al., 2008).

### I.1.5.Taxonomie

Dans la bibliographie, deux noms de genre sont donnés à la spiruline, *Spirulina* et *Arthrospira*. La confusion entre ces deux genres est due à la décision de les unifier : *Arthrospira stizenberger* (nom initialement donné à la forme avec septum par M.Stizenberger) et *Spirulina turpin* (forme asseptée). Elles ont ensuite été unifiées sous le nom *Spirulina* en 1932 par M. Geitler, en se basant uniquement sur leur forme hélicoïdale malgré leurs différences morphologiques rappelées dans le tableau I, mais les deux noms de genre persistent (Sguera, 2008 ; Manet, 2016 ; Ahounou, 2018).

**Tableau I :** Comparaison morpho-anatomiques des genres *Spirulina* et *Arthrospira* (Manet,2016)

	<i>Arthrospira</i>	<i>Spirulina</i>
Trichomes	Hélice ouverte	Hélice presque fermée
Paroi cellulaire	Visible si les vacuoles à gaz ne sont pas trop nombreuses.	Difficilement visible (gaine non prononcée).
Taille et spécificité des cellules	6 à 12µm de large Possible constrictions entre cellules adjacentes.	2 à 4µm de large Peu ou pas de constrictions entre cellules adjacentes Forme non fixe
Mobilité	Rotation	Permanente par rotation
Reproduction	Scission simple : fragmentation du trichome en hormogonies à partir des cellules nécridiques. Toutes les cellules se divisent sauf les cellules apicales.	Scission simple : fragmentation du trichome en hormogonies (sans les cellules nécridiques). Toutes les cellules se divisent.
Génome	ADN : 43% de G+C	ADN : 44% à 53% de G+C

### I.1.5.1 Principales caractéristiques distinctives des espèces *Spirulina maxima* et de *Spirulina platensis*

Une fois le genre bien établi, il ne faut pas encore se tromper d'espèce, dont les mieux connues sont : *Spirulina platensis* originaire de l'Afrique (figure 4) et *Spirulina maxima* originaire de l'Amérique centrale (Figure 5).

- *Spirulina platensis* : Elle se compose de trichomes atteignant 350  $\mu\text{m}$  de long et entre 6 et 12,45  $\mu\text{m}$  de diamètre ; ils sont un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spire ont un diamètre de 20 à 50  $\mu\text{m}$ , diminuant légèrement vers les extrémités (Vonshak, 1997 ; Fox, 1999).



**Figure 4** : *Spirulina platensis* observée au microscope optique (Ali et al., 2012)

- *Spirulina maxima* : Elle se caractérise par des trichomes de 70 à 80  $\mu\text{m}$  de long et de 7 à 9  $\mu\text{m}$  de diamètre, légèrement effilés aux extrémités ; ils forment une spirale régulière de 3 à 8 tours et de 40 à 60  $\mu\text{m}$  de diamètre. Les cellules constituant les trichomes mesurent entre 5 à 7  $\mu\text{m}$  de long et ne rétrécissent pas au niveau des articulations (Vonshak, 1997 ; Fox, 1999).



**Figure 5** : *Spirulina maxima* observée au microscope optique (Ali et al., 2012)

Selon le centre américain pour les informations biotechnologiques (Ahounou, 2018), la spiruline correspond à la classification suivante :

Règne : Monera

Sous règne : Procaryota

Phylum : Cyanophyta

Classe : Cyanophyceae

Ordre : Nostocales

Famille : Oscillatoriacées

Genre : Arthrospira ou Spirulina

Espèce : platensis ou maxima

### I.1.6. Habitat naturel et répartition géographique

D'après Manet (2016), Aouir (2017) et Jourdan (2018), ce qui distingue la spiruline des autres cyanobactéries, c'est le milieu naturel où elle vit. En effet, elle pousse naturellement dans les lacs des régions chaudes, ensoleillées et dans des eaux dont :

- La température varie entre 35 et 38 °C ;
- Le pH est compris entre 8,5 et 11 ;
- La salinité est comprise entre 20 à 70 g par litre d'eau ;
- La charge en substances minérales est élevée (particulièrement riches en carbonate de sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ou bicarbonate de sodium  $\text{NaHCO}_3$ ) ;
- La teneur en nutriments apportés par les affluents des lacs et des sols est élevée (fer, une source d'azote fixé, urée, acide phosphorique, sulfate de magnésium...) ;
- La richesse en gaz carbonique et en oxygène.

Son caractère thermophile et ses besoins importants en lumière limitent son aire de répartition à une bande intertropicale située environ entre 35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud (Soizic, 2019).

Cet organisme, dit ubiquiste, est abondant, à l'état naturel, dans les lacs alcalins en Afrique (Tchad, Ethiopie, Tunisie), en Amérique latine (Mexique, Pérou) et en Asie du Sud (Inde, Sri Lanka, Thaïlande), grâce à sa forte plasticité écologique (tableau IX en annexe A). Cependant, il est beaucoup moins présent en Amérique du Nord et en Europe (Goulamabasse, 2018).

La spiruline peut même pousser dans des lacs volcaniques (lac Quiliotoa, en Equateur) ainsi que dans certains déserts, à l'endroit de ramassage de l'eau provenant occasionnellement des montagnes (Fox, 1999). Ces conditions de développement excluent la prolifération de la plupart des autres micro-organismes (Sguera, 2008 ; Charpy et al., 2008; Goulamabasse, 2018).

### I.1.7. La production de la spiruline

La production mondiale de la spiruline, estimée à un peu plus de 5 000 tonnes par an (Ahouou, 2018), se fait à plusieurs échelles : artisanale, semi-industrielle et industrielle (Manet, 2016). Ces dernières se différencient par l'ordre de grandeur de l'investissement (moyens et matériaux utilisés), la surface des bassins de culture et d'exploitation, le tonnage de ces productions et la sophistication des techniques de production (tableau II). Quel que soit le mode de production, il se base sur les mêmes étapes (Soni et al., 2017). Ces étapes sont illustrées en annexe B.

**Tableau II** : Différentes productions de spiruline et leurs caractéristiques (Ahouou,2018).

		Artisanale	Semi-industrielle	Industrielle
Caractéristiques	Taille des bassins	< 100 m <sup>2</sup>	200 - 1000 m <sup>2</sup>	1000 m <sup>2</sup> -5000 m <sup>2</sup>
	Surface totale exploitée	< 3000 m <sup>2</sup>	3000 m <sup>2</sup> - 1 hectare	Plusieurs hectares
	Capacité de production/an	< 200 kg	10 – 50 tonnes	50-500 tonnes

### **I.1.7.1. Conditions chimiques de croissance ou milieu de culture**

Il s'agit d'une reproduction artificielle du milieu dans lequel la spiruline croît naturellement. Le milieu de culture utilisé est une solution natronée et alcaline constituée d'un mélange d'eau (potable ou au moins filtrée) et de sels minéraux (tableau X en annexe B), qui apporte à la spiruline tous les éléments chimiques qui lui sont nécessaires (Jourdan, 2014). Le pH du milieu de culture doit être compris entre 8.5 et 10.5 (Habib et *al.*, 2008).

- Les sources d'azote préférées des spirulines sont l'ammoniac et l'urée, mais ces produits sont toxiques au-delà d'une concentration limite. L'azote est donc le plus souvent apporté par du nitrate, dont on peut mettre sans danger une forte dose, afin de constituer une réserve d'azote à long terme.
- Le milieu doit en outre contenir tous les oligo-éléments nécessaires à la croissance de la spiruline : zinc, acide borique, manganèse, cuivre, chrome, cobalt, molybdène, ceux-ci sont généralement présents dans l'eau utilisée ou apportés par les impuretés des sels (Cruchot, 2008).

### **I.1.7.2. Conditions physiques de croissance**

La croissance naturelle de la spiruline est conditionnée par la présence d'un milieu favorable, dont certains éléments, entre autre la lumière et la température, qui avec des données précises, permettent une croissance optimale.

- La température :

La température du liquide de culture a une influence directe sur la vitesse de croissance de la spiruline. Bien qu'assez résistante au froid (jusqu'à 3-5°C), elle ne commence à croître d'une manière appréciable qu'au-dessus de 20°C. La vitesse de croissance est maximale vers 35-37°C. Au-delà de cette température, on risque rapidement une destruction de la culture (Manet, 2016).

- La lumière :

Une intensité lumineuse élevée sans agitation conduirait à la photolyse des micro-algues qui peut être dangereuse si le milieu de culture est :

- Froid (moins de 14-15°C), surtout en cas d'illumination brutale ;
- Très chaud, ce facteur serait à l'origine d'un échauffement supplémentaire ;
- Très dilué ;
- En difficulté suite à un accident (pas de distribution stable de la luminosité).

Par contre, une culture en bonnes conditions de concentration et de température pourrait être exposée avec profit à un maximum de lumière naturelle, conjuguée avec une forte agitation, ce qui donnera une croissance optimale. On réduit volontairement la luminosité par ombrage si l'on désire freiner la croissance de la spiruline, ou si l'on se trouve dans l'un des quatre cas précédents (Ahounou, 2018).



### **I.1.7.3. La production de la spiruline en Algérie**

En Algérie, la production de la Spiruline reste très faible, au stade artisanal et expérimental. A notre connaissance il n'existe que quelques fermes de culture artisanale tel que : la ferme de *Mr. Hiri* à Tamanrasset (producteur depuis 2004) et la ferme de *Mr. REDOUANE* à Oran (producteur depuis 2013).

Mr.Hiri Abdelkader a réussi à faire déplacer la spiruline de son environnement naturel (El Guelta) vers un bassin d'une superficie légèrement au-dessus de 20 m<sup>2</sup> et en produit 20 kg sèche par an. La récolte de la spiruline peut s'effectuer quatre mois après l'ensemencement du bassin (M'hamed, 2010).

La ferme de Mr. Redouane Anouar, située à Oran, est la deuxième du genre au niveau national après celle de Tamanrasset, elle a été réalisée après plusieurs expériences et études ayant duré cinq années, pour arriver à produire sept (7) quintaux de spiruline au niveau de quatre bassins situés au sein des serres. Ce promoteur entend procéder à l'extension de cette ferme pour augmenter la production en vue de satisfaire les besoins du marché en algues (Tribunal des lecteurs, 2017).

### **I.1.8. Composition de la spiruline**

Il existe des différences majeures dans la composition biochimique de la spiruline. Ces divergences sont liées à plusieurs facteurs, en premier lieu du fait de l'existence de différentes souches de spirulines, l'origine géographique, les conditions de production (les éléments chimiques entrant dans la composition du milieu de culture, les techniques de séchage, de broyage, de récolte), le taux d'ensoleillement, sont autant d'éléments qui influent la composition de la spiruline (Soizic, 2019).

Cependant, la spiruline contient des protéines, des glucides, des lipides, de l'eau, des vitamines, des minéraux (principalement des oligo-éléments), de la chlorophylle et de la phycobiliprotéine appelée également Phycocyanine (Falquet et Hurni, 2006; Sguera, 2008; Manet, 2016).

- Protéines :

La spiruline est caractérisée par une abondance de protéines végétales qui représentent 55% à 70% de son poids (Ravindran et al., 2016).

Qualitativement, la spiruline fournit des protéines complètes car elle contient la gamme complète d'acides aminés essentiels (valine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane) qui représente 47% du poids total des protéines. (Falquet et Hurni, 2006 ; Soni et al.,2017).

- Les lipides :

La spiruline présente une fraction lipidique d'environ 5 à 10% de son poids sec (Gutiérrez-Salmeán et al.,2015), ce pourcentage peut atteindre 11% selon les modes d'extraction ou la souche de Spiruline utilisée. La composition en lipides totaux se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés (AGPI). Elle se subdivise en deux fractions : une fraction saponifiable « ou acides gras » (83%) et une fraction insaponifiable (17%), contenant essentiellement des paraffines, des pigments, des alcools terpéniques et des stérols (Gershwin et al., 2007 ; Goulamabasse, 2018).

- Les glucides :

Ils représentent 15 à 25 % de la matière sèche des spirulines (Falquet et Hurni, 2006). L'essentiel des glucides assimilables est constitué de polymères tels que des glucosanes aminés (1,9 % du poids sec) et des rhamnosanes aminés (9,7 %) ou encore de glycogène (0,5 %) (Cruchot, 2008). Les glucides simples (fructose, glucose et saccharose) sont en faible quantité comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol. Cette faible proportion fait de la spiruline un aliment peu calorique (Manet, 2016).

- Les vitamines :

Le  $\beta$ -carotène représente 40 à 80% des caroténoïdes présents dans la spiruline (Falquet et Hurni, 2006) et ce  $\beta$ -carotène est converti en vitamine A (Habib et *al.*, 2008).

La spiruline est la source d'aliments la plus riche en vitamine B12 (et même ses formes corrinoides, analogues et pseudo-vitamine B12). Sa teneur est exceptionnellement élevée, environ 30 fois plus élevée que celle trouvée dans une carotte (Soni et *al.*, 2017) et 4 fois plus de vitamine B12 que dans le foie cru (Gutiérrez-Salmeán et *al.*, 2015).

- Acides nucléiques :

La teneur en acides nucléiques de la spiruline est d'environ 4,2 à 6% (30% ADN et 70% ARN) de son poids sec (Cruchot., 2008), ces valeurs sont inférieures à celles des autres sources de protéines unicellulaires (par exemple, la levure contient environ 20% de sa matière sèche) et d'autres micro-algues comme *Chlorella* (Gutiérrez-Salmeán et *al.*, 2015).

- Minéraux et Oligo-éléments :

Tous les minéraux essentiels sont disponibles dans la spiruline, ils représentent environ 7 % de son poids total (Habib et *al.*, 2008 ; Goulamabasse, 2018). Les minéraux les plus intéressants chez la spiruline sont : le calcium, le magnésium, le phosphore et le potassium. Les oligo-éléments présentant le plus d'intérêts dans la spiruline sont le fer, le zinc, le sélénium (Cruchot, 2008). Manet (2016) a rapporté que la teneur en minéraux de la spiruline dépend de la source et des conditions de culture (le pH et la composition du milieu de culture).

Le phosphore et le magnésium sont présents en quantités comparables à celles trouvées dans le lait. Les travaux de Hoseini et *al.* (2013) ont démontré que la spiruline a une teneur en  $Fe^{2+}$ , qui est dix fois plus élevée que les aliments communs riches en fer.

- Pigments :

La spiruline, cette micro-algue qu'on dit bleue mais que nous voyons verte, contient toutes sortes de pigments (Goulamabasse, 2018).

La teneur en pigments de la spiruline varie suivant les souches et le milieu de culture. Elles lui permettent de capter-différents spectres solaires et d'en stocker l'énergie. Ils sont à l'origine des nombreuses propriétés attribuées à la spiruline (Ahounou, 2018).

Les pigments présents dans la spiruline sont récapitulés dans le tableau **XI** en annexe C.

- Enzymes

La spiruline peut également être exploitée pour la production de diverses enzymes, en particulier les enzymes anti-oxydantes. La spiruline contient une quantité intéressante de SOD (1.000 à 4.000 UI/g), une puissante enzyme anti-oxydante, à la base du système endogène de la lutte contre le stress oxydatif. La biodisponibilité de la SOD est très importante grâce à la membrane de la spiruline dépourvue de cellulose (Soizic, 2019).

## **I.1.9. Les domaines d'application de la spiruline**

### **I.1.9.1. Utilisations pharmaceutiques et thérapeutiques**

De nombreuses études sur la spiruline ont été menées au cours des trente dernières années pour apporter la preuve de certains effets thérapeutiques suspects qui ont été observés chez des consommateurs réguliers. Des études ont été faites *in vitro* et d'autres *in vivo* chez certaines espèces animales ou chez les humains (Cruchot, 2008).

- La spiruline a démontré une gamme ahurissante de propriétés thérapeutiques. Les principales implications soutenues par les découvertes scientifiques sont en tant qu'anti-oxydant, anti-inflammatoire, hypolipémique, anti-hypertenseur, anti-diabétique, anti-cancéreux, immunostimulant, anti-microbien, hépato-protecteur, neuro-protecteur, antianémique et en ingénierie anti-leucopénique et tissulaire (Patel *et al.*, 2013 ; Nege, 2020).

Cruchot (2008) et Kulshreshtha *et al.* (2008) ont rapporté que la spiruline peut avoir d'autres utilisations dans :

- Le Diagnostic biologique : la spiruline renferme des pigments photosynthétiques qui sont utilisés comme marqueurs fluorescents dans le dépistage de certaines maladies (détection dans les dons de sang d'une éventuelle contamination par le virus du SIDA) et dans le domaine de la recherche médicale.
- La Recherche génétique : La spiruline contient beaucoup d'enzymes, dont trois endonucléases de restriction ont été découvertes. Elles agissent comme des ciseaux pour couper l'ADN des microbes.
- La protection anti-oxydante contre les espèces réactives de l'oxygène générées lors d'un métabolisme normal ou anormal et contre les substances toxiques présentes dans l'environnement.
- La prévention contre le covid-19 :

De sérieuses études scientifiques ont mis en évidence que la spiruline, par son action immunostimulante, peut jouer un rôle préventif contre le coronavirus. La spiruline est riche en acides aminés et en vitamines qui aident à améliorer le pouvoir immunitaire chez les êtres humains, ce potentiel peut donc être utilisé pour lutter contre le nouveau coronavirus COVID-19. Cette espèce d'algue particulière possède à la fois une capacité d'amélioration de l'immunité et également capable de supprimer les activités virales chez l'homme. Il est prouvé cliniquement qu'elle améliore la santé des patients infectés par le virus, elle peut donc faire la même chose pour les patients atteints du COVID-19. Il est donc recommandé d'utiliser cette algue comme remède préventif contre cette infection virale pandémique (Elaya-Perumal *et al.*, 2020 ; Ratha *et al.*, 2021).

McCarty *et al.* (2020) ont suggérés la prise d'une dose quotidienne de 15g de spiruline qui pourrait aider à contrôler le coronavirus.

Une autre recherche sur les composés bioactifs provenant de diverses sources alimentaires y compris le phycocyanobiline, pour prédire les inhibiteurs potentiels de covid-19, les résultats de l'amarrage ont révélé que la phycocyanobiline est prédite comme un composé bioactif potentiel pour traiter le COVID-19 (Raj et *al.*, 2020).

### **I.1.9.2. Utilisation en cosmétologie**

Une tendance récente consiste à utiliser des compléments alimentaires à base de spiruline comme « nutricosmétique », qui aident non seulement à devenir plus sains et à prévenir les maladies, mais également assurer la netteté et la fraîcheur de la peau, la vigueur et la brillance des cheveux ainsi que des ongles fortifiés qui cassent moins facilement (Sguera, 2008).

La phycocyanine extraite de la spiruline est aussi utilisée dans le domaine de la cosmétologie, notamment pour la variété de couleurs qu'elle peut donner lors de son mélange avec d'autres composés. Depuis de nombreuses années, elle rentre ainsi dans la composition de rouges à lèvres et de crayons pour souligner les yeux, disponibles sur le marché asiatique. De plus, sa teneur en vitamine B5 aide à renforcer les cheveux contre les agressions chimiques et mécaniques. La vitamine B8, en diminuant l'excrétion de sébum, réduit la principale cause de chute des cheveux (Cruchot, 2008).

- Sur la peau :

À ce jour, peu de recherches se sont intéressées à démontrer l'effet sain de la spiruline sur la peau. La plupart des actions cosmétiques, soutenues par la littérature et revendiquées par le marché, sont d'une part l'effet anti-âge, y compris les propriétés hydratantes, anti-oxydantes et éclaircissantes, et d'autre part les propriétés anti-acnéiques et cicatrisantes (Ragusa et *al.*, 2021).

Selon Delsin et *al.* (2015), cette micro-algue améliore la structure de l'épiderme et agit comme un booster d'hydratation avec des résultats positifs sur la fonction de barrière cutanée. Confirmé par Manet (2016), la spiruline est recommandée pour la peau, en raison de sa forte teneur en anti-oxydants : vitamine A, E, B,  $\beta$ -carotène et surtout la phycocyanine qui est le principal ingrédient actif de la spiruline.

Les acides gras de la spiruline améliorent l'aspect de la peau grasse (Ragusa et *al.*, 2021). Par ailleurs, la spiruline renferme une teneur élevée en acide  $\gamma$ -linoléique. Ce dernier exerce une action thérapeutique importante sur le derme par atténuation de certains phénomènes inflammatoires, par amélioration de la qualité des cicatrisations cutanées et il apporte souplesse, élasticité et douceur à la peau (Manet, 2016). Cet acide étant très rare dans la nature, son extraction à partir de la spiruline pourrait constituer une offre intéressante pour l'industrie cosmétique (Cruchot, 2008 ; Gutiérrez-Salmeán et *al.*, 2015).

Les polysaccharides contenus dans cette micro-algue stimulent le processus de division cellulaire et contribuent aux processus de kératinisation ou au renouvellement de la couche cornée. Les vitamines, minéraux et protéines qu'elle comporte peuvent en outre contribuer à améliorer le microrelief cutané et l'hydratation (Ragusa et *al.*, 2021).

Grâce au  $\beta$ -carotène, au zinc et à la vitamine E, elle permet de lutter contre *Propionibacterium acnes* (une bactérie liée à l'écllosion de l'acné), de cicatriser les boutons, d'éliminer les cellules mortes, de fabriquer des cellules cutanées saines et de réguler la sécrétion de sébum (Manet, 2016).

### **I.1.9.3. Utilisation dans l'industrie agro-alimentaire**

La spiruline est consommée depuis des décennies en raison de sa haute valeur nutritionnelle et de ses bienfaits pour la santé. Cette micro-algue contient pratiquement tous les composants de l'aliment complet idéal, contrairement aux autres algues, elle est plus facile à consommer (Soni et *al.*, 2017). Sa paroi cellulaire est constituée de polysaccharides dont la digestibilité est de 86% et qui pourrait être facilement absorbée par le corps humain (Habib et *al.*, 2008).

Elle peut être utilisée comme complément alimentaire pour les sportifs, les végétariens et les personnes faisant un régime amaigrissant (Ramirez-rodrigues,2021), ainsi que comme nourriture pour l'aquaculture et pour certaines espèces animales (Habib et *al.*, 2008) ;

La spiruline pourrait jouer un autre rôle, bien plus important, comme moyen de lutte contre la malnutrition dans les pays sous-développés (soni et *al.*, 2017). Selon Cruchot (2008), grâce aux pigments naturels que l'on sait extraire des spirulines, on obtient des colorants naturels utilisables notamment dans l'industrie alimentaire. Trois pigments peuvent être extraits, mais actuellement c'est la première citée ci-dessous qui est la plus utilisée dans cette indication ; les deux autres pigments sont plutôt utilisés dans le domaine pharmaceutique.

- La phycocyanine : cette substance hydrosoluble donne une couleur bleue lorsqu'on la mélange avec de l'eau. Elle représente le seul colorant bleu naturel autorisé dans l'industrie alimentaire.
- La chlorophylle : c'est un pigment vert abondant dans le monde végétal. La spiruline, avec sa teneur de 1% en chlorophylle *a*, présente un meilleur rendement.
- Les caroténoïdes : ce sont des pigments orangés.

## **I.2 Généralités sur la peau**

### **I.2.1 Définition de la peau**

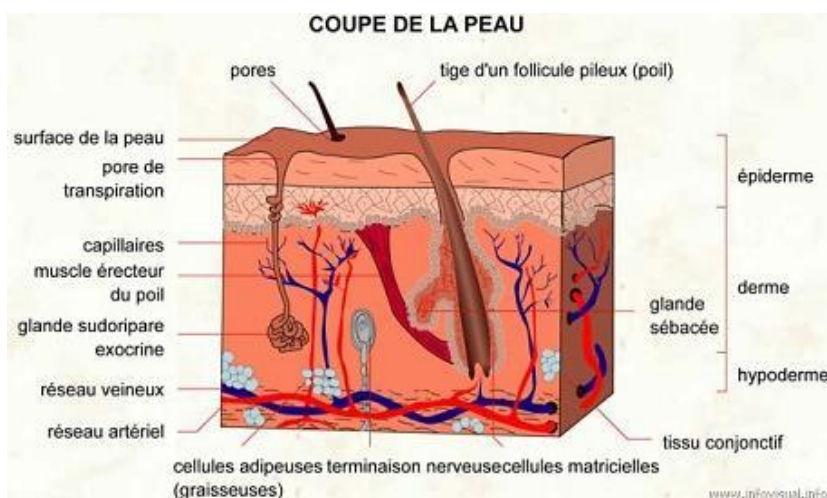
La peau est l'organe le plus important et le plus étendu du corps humain, elle représente environ 10% de la masse corporelle et sa surface est en moyenne de 1,70 m<sup>2</sup> pour un adulte (Feurtet, 2006) Son épaisseur varie selon les régions du corps et les contraintes qui lui sont imposées. Elle offre donc de multiples sites d'administration thérapeutiques pour des actions à la fois locales et systémiques (Racz, 2018).

Beaucoup plus qu'une simple enveloppe recouvrant notre corps, la peau est en effet le siège de nombreuses fonctions : sensorielle, métabolique, d'échanges, de thermorégulation et d'auto-réparation ou cicatrisation (Caussanel, 2015).

### **I.2.2 Description des différentes couches de la peau**

Selon Feurtet (2006), la structure cutanée est une structure hétérogène composée de trois tissus superposés, qui sont respectivement de l'extérieur vers l'intérieur : l'épiderme, le derme et l'hypoderme (figure 6).

La peau est un tissu vascularisé et innervé (Racz, 2018). Elle renferme également des annexes cutanées représentées par les glandes. Il existe deux sortes de glandes : les glandes sudoripares excréant la sueur et les glandes sébacées excréant le sébum et les follicules pilo-sébacés.



**Figure 6** : Coupe histologique au niveau de la peau (Elkassouani, 2013)

### **I.2.3 Les différents types de peau**

Il existe plusieurs types de peau : la peau normale, la peau grasse, la peau sèche et la peau mixte. La peau sensible est un état qui peut concerner l'ensemble des types de peau cités ci-avant (Elkassouani, 2013).

La peau des hommes présente quelques différences par rapport à celles des femmes, la peau masculine présente des caractéristiques dues principalement à une influence hormonale (la sécrétion d'androgènes, beaucoup plus élevée chez l'homme), ce qui explique les différences structurales, physiologiques et fonctionnelles par rapport à celle de la femme et donc les attentes vis-à-vis des produits cosmétiques ne sont pas les mêmes (Caussanel, 2018). Cependant, quel que soit son type, la peau est sénescence, c-à-d qu'elle vieillit avec l'âge (Elkassouani, 2013).

### **I.2.4. L'absorption cutanée**

D'après El Kassouani (2013), l'absorption cutanée est un phénomène passif qui peut être définie comme étant le passage d'une substance xénobiotique (thérapeutique, cosmétique ou toxique) de la surface de la peau vers la circulation sanguine.

L'absorption cutanée prend en compte différents mécanismes :

- La pénétration : décrit comme le passage d'une molécule à travers une structure particulière;
- La perméation : qui consiste au passage des molécules d'une couche cutanée à une autre ;
- La résorption : qui consiste au passage dans la circulation sanguine (Racz, 2018).

Les facteurs qui vont influencer la pénétration des produits dermo-cosmtiques à travers cette barrière sont liés dans une relation entre l'état de la peau et les caractéristiques physicochimiques du produit, de plus, cette pénétration peut être modulée par sa formulation galénique (Elkassouani, 2013 ; Racz, 2018).

## **I.3. Généralités sur le produit de soin**

### **I.3.1. Définition d'un produit cosmétique**

Un produit cosmétique est une substance ou une préparation destinée à être mise en contact avec différentes parties superficielles du corps humain, (l'épiderme, les systèmes pileux et capillaire, les ongles, les lèvres, les organes génitaux externes) en vue, exclusivement ou principalement de les nettoyer, protéger, parfumer, maintenir en bon état le corps humain, de modifier son aspect ou d'en corriger l'odeur (Elkassouani, 2013). Les produits cosmétiques comportent les produits de beauté et les produits de soin.

### **I.3.2. Les produits dermo-cosmétiques**

Un produit dermo-cosmétique a des propriétés à la fois cosmétiques et dermatologiques. Ils sont élaborés pour répondre aux agressions extérieures auxquelles la peau et les cheveux sont soumis tout en les préservant. De nombreux laboratoires ont contribué au développement de produits de soins dermo-cosmétiques, aux propriétés reconnues de cicatrisation, d'apaisement, de réparation, de soulagement ou de revitalisation (Raymond, 2016).

### **I.3.3. Différentes étapes de la vie d'un produit dermo-cosmétique**

Selon Bourdais (2009), de manière générale, un produit dermo-cosmétique est caractérisé par :

- Sa formulation ;
- Sa production ;
- Son emballage et son étiquetage ;
- Les tests auxquels il est soumis.

Les différents ingrédients utilisés peuvent être d'origine végétale, animale, minérale (paraffine, argile, silicium, etc.) ou encore de synthèse (Bourdais, 2009).

D'après Raymond (2016), quelle que soit leurs formes, les produits de soin sont toujours l'association :

- De une ou plusieurs substances actives qui assurent l'efficacité du produit ;
- De un ou plusieurs excipients dont le rôle est le plus souvent d'accélérer la diffusion de la substance active dans l'épiderme ;
- Des additifs qui sont très variés (conservateurs, colorants, émulsifiants, stabilisateurs de pH, agents viscosifiants, etc).

### **I.3.4. Les formes galéniques d'un produit de soin dermatologique**

La forme galénique d'un produit de soin correspond à l'aspect sous lequel celui-ci est présenté. Dans le cas d'une formulation cosmétique, celle choisie doit être chimiquement stable tout en permettant une pénétration adéquate de la substance active. La formulation est garante des propriétés sensorielles du produit (Racz, 2018).

La majorité des préparations topiques sont semi-solides.

### I.3.4.1. Les formes semi-solides

Ce sont des préparations de consistance semi-solide. Ils ont des propriétés proches de solides au repos, mais peuvent néanmoins être transformés en liquides visqueux par application d'une contrainte mécanique suffisante pour être manipulés, déformés et étalés lors de leur utilisation. Elles sont destinées à être appliquées sur la peau ou sur certaines muqueuses afin d'exercer une action locale ou transdermique de principes actifs, elles présentent un aspect homogène (Bolzinger et *al.*, 2015).

- Les pommades

Les pommades, d'aspect homogène, sont principalement composées d'une masse grasse dans laquelle est dispersée et/ ou dissoute la matière active (Bronaugh et *al.*, 2002).

Leurs fonctions émoullientes et protectrices, dues à leur nature hautement occlusive, sont importantes. Elles préviennent la perte en eau de la surface du *stratum corneum*, ce qui induit une augmentation de l'hydratation de la peau et une augmentation significative de perméabilité du principe actif (Hugues, 1993).

Selon la nature chimique des matières premières, les pommades peuvent être hydrophiles. Ces dernières sont alors formées d'excipients miscibles à l'eau, se liquéfient à la surface de la peau et sont aisément éliminées par lavage (Feurtet, 2006 ; Racz, 2018).

- Les pâtes :

Ce sont des préparations relativement fermes qui contiennent une forte proportion de poudre (supérieur à 50%) en suspension dans une base grasse : il s'agit principalement d'excipients de charges. Les pâtes sont moins grasses que les pommades, mais elles sont également occlusives et hydratent le *stratum corneum* (Feurtet, 2006).

- Crème et émulsion :

Les émulsions sont constituées de 2 phases, l'une continue et l'autre dispersée, représentée sous forme de gouttelettes et se présentent sous différents types : les émulsions eau dans l'huile (E/H ou W/O, la phase dispersée est hydrophile, la phase continue lipophile) et les émulsions huile dans eau (H/E ou O/W, la phase dispersée est lipophile, la phase continue hydrophile) (Racz, 2018).

A l'interface de ces deux phases, des composants stabilisent l'émulsion en se plaçant en couche mono-moléculaire, ce sont des émulsifiants ou tensio-actifs, molécules amphiphiles possédant à la fois une extrémité apolaire et une extrémité polaire (Feurtet, 2006).

D'après Wehrle (2007), en fonction de la consistance finale du produit, on retrouve :

- Les crèmes lipophiles : Dans les crèmes lipophiles la phase externe est la phase lipophile. Ces préparations contiennent des agents émulsifiants « eau dans huile » tels que de la graisse de laine, des esters de sorbitan, des mono-glycérides.
- Les crèmes hydrophiles : Dans les crèmes hydrophiles, la phase externe est la phase aqueuse. Ces préparations contiennent des agents émulsifiants « huile dans l'eau » tels que des savons de sodium ou de triéthanolamine, des alcools gras sulfatés, des polysorbates.



- Les gels :

Selon, Williams et *al.* (2003), les gels sont définis comme étant des systèmes dispersés à une ou deux phases, thermodynamiquement stables, consistant soit en une suspension de petites particules inorganiques (système à deux phases) ou en de grosses molécules organiques interpénétrées par un liquide constituant un réseau tridimensionnel (gel à phase unique).

La consistance est due à des agents gélifiants qui appartiennent principalement aux polymères (Alenta et *al.*, 2004). Des forces intermoléculaires lient les molécules de solvant au réseau (figure 25 en annexe D), ce qui entraîne une mobilité réduite, augmente la viscosité et met en valeur des propriétés visco-élastiques. Ils sont utilisés entre 1 et 5% dans une formulation ajustant ainsi la viscosité finale de la préparation et facilitant son application (Feurtet, 2006).

Les gels sont constitués d'une seule phase aqueuse (hydrogel) ou bien d'une seule phase huileuse (oléo-gel) :

- Les gels hydrophobes (oléo-gels) : Les gels huileux, qui renferment une forte proportion d'huile gélifiée par des substances lipophiles telles que des dérivés de la silice ou des stéarates d'aluminium, sont plus rares. Rémanents et non desséchants pour le tégument cutané, ils sont appréciés, par exemple, comme gels solaires (l'excipient peut être de la paraffine liquide ou de l'huile grasse gélifiée par l'oxyde de silicium, polyéthylène ou savons d'Al ou Zn colloïdal) (Coulibaly, 2018).
- Les gels hydrophiles (hydrogels) : Un hydrogel est un réseau polymérique hydrophile qui peut absorber en eau jusqu'à plusieurs milliers de fois sa masse sèche. Les hydrogels peuvent être stables chimiquement ou peuvent se dégrader et se dissoudre (Hoffman, 2002). Il est constitué essentiellement d'eau, de glycérol ou de PEG gélifiés par la gomme adragante, amidon, dérivés de cellulose, silicates de Mg-A (Bolzinger et *al.*, 2015).

Les hydrogels sont également très utilisés dans le secteur de la cosmétique. Ils permettent de piéger des ingrédients actifs cosmétiques et de les libérer de manière contrôlée, grâce à un stimulus extérieur comme une variation de pH par exemple. Les propriétés mécaniques des hydrogels confèrent aux formulations une stabilité et une résistance utiles pour le stockage pendant plusieurs mois, voire plusieurs années, dans un flacon soumis éventuellement à des contraintes et des chocs (transport) (Coulibaly, 2018).

Roland (2013) a rapporté qu'il est possible de jouer sur la rhéologie des hydrogels et de leur donner des formes et des textures variées et adaptées à l'usage que l'on souhaite en faire (solution viscoélastique, solide plus ou moins mou, membrane fine, billes, etc...). Les étapes de la fabrication du gel sont récapitulées dans la figure 26 dans l'annexe D.

### **I.3.5. Contrôle de la qualité d'un produit de soin dermatologique**

Afin de formuler des produits semi-solides, il est nécessaire de connaître les caractéristiques physico-chimiques du principe actif et des excipients associés grâce à des études de pré-formulation (Rancurel, 2004).

Selon Bourdais (2009), tout laboratoire cosmétique doit garantir une parfaite innocuité des produits avant de pouvoir les commercialiser. Ainsi, la fabrication des produits cosmétiques doit être réalisée en conformité avec les bonnes pratiques de fabrication, à savoir :

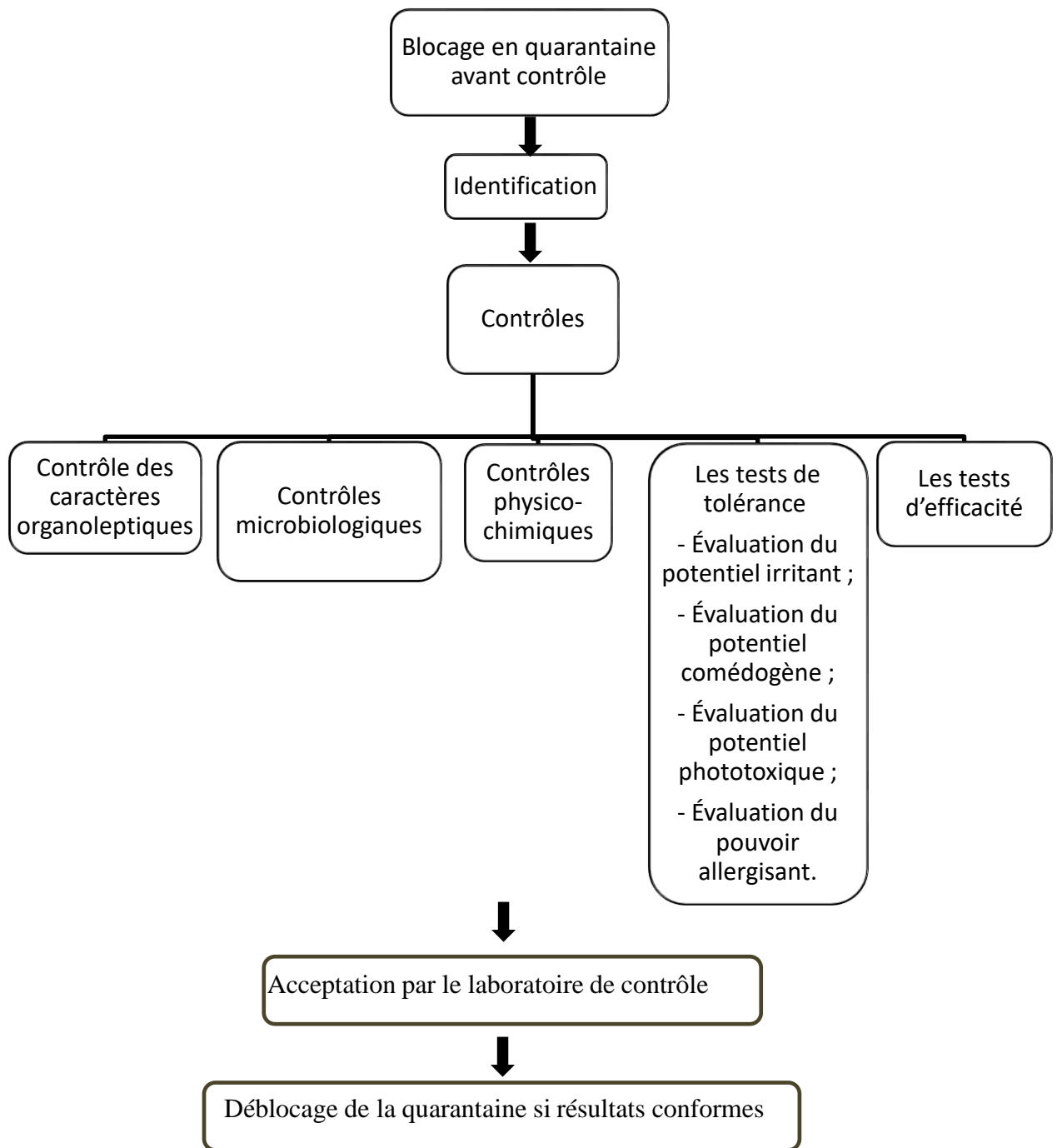
- ✓ Le maintien des locaux dans des conditions de température, d'humidité relative et de contamination particulaire optimales et identiques pendant toute la durée de fabrication.
- ✓ La conception du matériel de telle sorte que toutes les surfaces en contact avec les produits fabriqués ne donnent lieu à aucune réaction susceptible de modifier l'innocuité, l'activité, la qualité et l'intégrité du produit fini.
- ✓ La classification de chaque matière première sur un document indiquant son fournisseur, sa date de réception, d'analyse et d'acceptation par le responsable du contrôle qualité.
- ✓ L'utilisation par le personnel travaillant en zone de production de produits cosmétiques, de vêtements de travail spécifiques, ce personnel doit faire l'objet de contrôles médicaux fréquents.

### **I.3.5.1 Le contrôle du produit fini**

Selon Elkassouani (2013), pour chaque lot de fabrication, de nombreux contrôles sont réalisés :

- ✓ Contrôles des caractères organoleptiques,
- ✓ Contrôles physico-chimiques (pH, viscosité, dosages)
- ✓ Contrôles microbiologiques pour vérifier la contamination des produits, ou l'absence de bactéries pathogènes, ou encore le taux de bactéries commensales.

Le produit fini va subir un processus de contrôle, dont les étapes sont résumées dans la figure 7.



**Figure 7** : Etapes de contrôle du produit fini  
(Bourdais,2009)

## Chapitre II

# **MATERIELS ET METHODES**

Le travail effectué a été réalisé au niveau de trois (3) laboratoires :

- Le laboratoire d'analyses physico-chimique et microbiologique de *VENUS SAPECO* d'Ouled Yaich-Blida, où il a été procédé, pendant une période d'un (01) mois, s'étalant du 20 avril au 20 mai, aux essais de formulation du gel ainsi que ses contrôles de qualité;
- Le laboratoire du département de génie des procédés, faculté des sciences et technologies, université de Saad Dahleb, Blida, où il a été réalisé, pendant 2 jours, un test de rhéologie au niveau du laboratoire d'analyse fonctionnelle, dirigé par le *Pr Hadj Sadouk* ;
- Le laboratoire de recherche en biotechnologie des productions végétales, faculté des sciences de la nature et de la vie, université de Saad Dahleb, Blida, pendant une période de 2 jours, pour évaluer le pouvoir anti-oxydant.

Le but de ces expérimentations consiste à faire des essais pour la mise en place de formulations pour la production d'un gel à base de la poudre de spiruline avec des propriétés optimales sur le plan biochimique et microbiologique.

Nous avons procédé à des essais de formulations d'un gel pour application dermique (masque) à base de différentes concentrations de poudre de spiruline. Par la suite, nous avons établi une étude comparative des différents résultats obtenus afin de retenir la meilleure formulation en terme de stabilité.

De nombreuses analyses telles que la mesure de pH, de la viscosité, de la densité, et la vérification d'une éventuelle contamination du produit par des germes contaminants, ont été effectuées afin de vérifier la qualité du gel.

De plus, d'autres contrôles ont été effectués, à savoir : le test des propriétés anti-oxydantes et le test de rhéologie pour vérifier la stabilité de la texture du gel.

Par ailleurs, nous avons réalisé un essai de formulation pour la production d'un gel lavant à base de phycocyanine extraite à partir de la poudre de la spiruline (laboratoire *Venus*) qui a été soumis à un contrôle organoleptique.

## **II. 1.Matériels**

### **II. 1.1. Matériel biologique**

La poudre de la spiruline utilisée dans notre travail (100g), qui appartient à l'espèce *Arthrospira Platensis*, a été acquise chez un intermédiaire de boutique en ligne "*Naturalim dz*" (figures 8 et 9). Elle provient de la ferme de *Mr.Redouane Anouar* à Oran (Adresse : 57, cité Si Radouane 31100 Es-Senia, Oran, Algérie).

La poudre de spiruline reçue dans le premier paquet acquis d'une contenance de 50 g, avait une texture très fine et une couleur verte très foncée, tandis que la poudre du deuxième paquet, d'une même contenance et de la même couleur que le premier, avait une texture légèrement rugueuse.



**Figure 8** : Poudre de spiruline sous emballage



**Figure 9** : Aspect de la poudre de Spiruline utilisée.

## **II. 1.2. Matériel non biologique :**

Notre étude a nécessité l'utilisation de certains appareillages, réactifs et verreries qui sont récapitulées en annexe E.

## **II. 2. Méthodes**

### **II. 2.1. Conception d'un gel hydratant à base de poudre de spiruline**

#### **II. 2.1.1. Mode opératoire**

En se référant au mode opératoire utilisé au sein du laboratoire *Venus* (figure 10), nous avons préparé 3 formulations de gels hydratants monophasiques d'une quantité de 500 g chacun, à base de différentes concentrations de poudre de spiruline en suivant les recommandations de l'un des experts du laboratoire spécialisé dans les formulations cosmétiques.

Les mesures des ingrédients, cités dans le tableau ci-dessous (tableau III), sont obtenues à l'aide d'une balance électronique de précision:

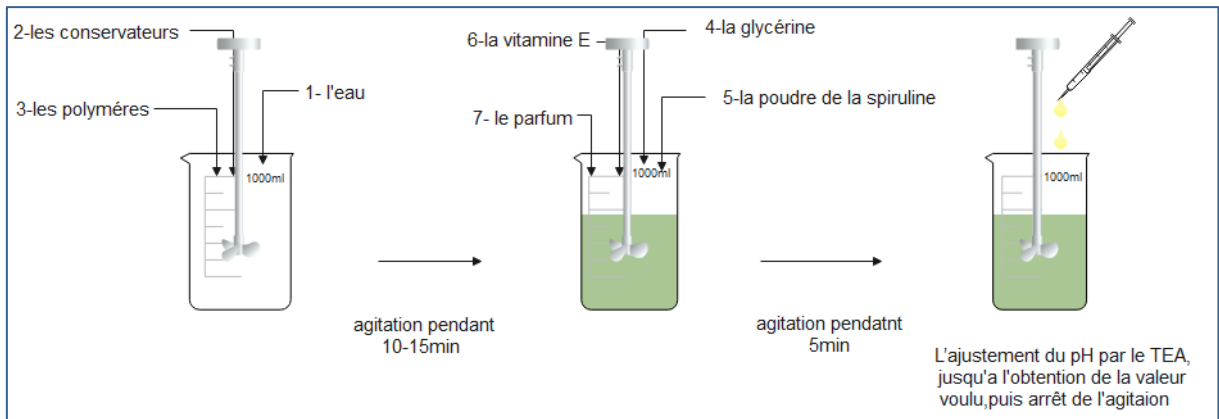
**Tableau III** : Ingrédients utilisés pour la préparation de 100 g du gel à base de spiruline.

Gel à base de 5% de spiruline		Gel à base de 2% de spiruline		Gel à base de 2% de spiruline	
Ingrédients	Quantité (Qsp 100g)	Ingrédients	Quantité (Qsp 100g)	Ingrédients	Quantité (Qsp 100g)
Polymère A	0.5%	Polymère A	0.5%	Polymère A	0.8%
Polymère B	0.2%	Polymère B	0.2%	Polymère B	0.2%
Glycérine	5%	Glycérine	5%	Glycérine	5%
Vitamine E	0.2%	Vitamine E	0.2%	Vitamine E	0.2%
Conservateur 1	1%	Conservateur 1	1%	Conservateur 1	0.5%
Conservateur 2	/	Conservateur 2	0.5%	Conservateur 2	1%
Parfum	2%	Parfum	2%	Parfum	1,50%
L'eau distillée	87.1%	L'eau distillée	88.6%	L'eau distillée	88.8%

Conformément à un processus de préparation à froid, nous avons mélangé, à l'aide d'un agitateur électrique, dans un bécher en plastique d'une capacité de 1000 ml : l'eau, les conservateurs et les polymères, pendant 10-15 min à une vitesse croissante jusqu'à un maximum de 2000 rpm, qui doit être maintenue afin de ne pas modifier la texture du gel.

Tout en poursuivant l'agitation, on rajoute en premier lieu de la glycérine, de la poudre de spiruline et de la vitamine E, puis en second lieu le parfum, l'agitation est arrêtée au bout de cinq (5) minutes.

L'ajustement du pH se fait par ajout de quelques gouttes de TEA, jusqu'à l'obtention d'une valeur de pH incluse entre 5 et 7 (en maintenant l'agitation après chaque ajout).



**Figure 10** : Schéma de la procédure de formulation du gel à base de poudre de spiruline

Remarque : dans la 1<sup>ère</sup> formule, le conservateur a été ajouté 24h après la fabrication du gel, dans le but de contrôler la stabilité du produit dans son état naturel.

Les trois formulations du gel, conservées dans des flacons hermétiquement fermés, ont été placées sur une étagère du laboratoire à une température ambiante.

## II. 2.2. Conception d'un gel lavant à base de phycocyanine

### II. 2.2.1. Préparation d'un extrait aqueux de phycocyanine

On a procédé à une formulation d'un gel lavant à base de l'extrait aqueux de phycocyanine, extrait à partir de la poudre de spiruline selon le protocole décrit par Lafri et al (2017), dont les étapes sont récapitulées ci-après :

- Une suspension de 4 % de spiruline dans l'eau distillée a été préparée à l'obscurité ;
- La solution obtenue a subi une centrifugation à 9000 tours pendant 15 mn à 4°C;
- On prélève alors le surnageant qui subira une filtration;
- Le filtrat contenant de la phycocyanine est récupéré et conservé dans un endroit obscur et à une température ambiante.

### II. 2.2.2. Formulation du gel lavant

En se référant au mode opératoire utilisé au sein du laboratoire *Venus* (figure 11), nous avons procédé à la préparation de 500g de gel lavant. Les ingrédients utilisés sont récapitulés dans le tableau IV.



**Tableau IV** : Ingrédients utilisés pour la préparation de 100 g du gel lavant à base de phycocyanine.

Ingrédients	Quantité (Qsp 100g)
Extrait aqueux phycocyanine	2%
Polymère A	0.5%
Polymère B	0.2%
Glycérine	5%
Vitamine E	0.2%
Conservateur Uniguard	1%
Tensio-actif : Plantapon psc benz	5%
Parfum	2%
L'eau distillée	84.1%

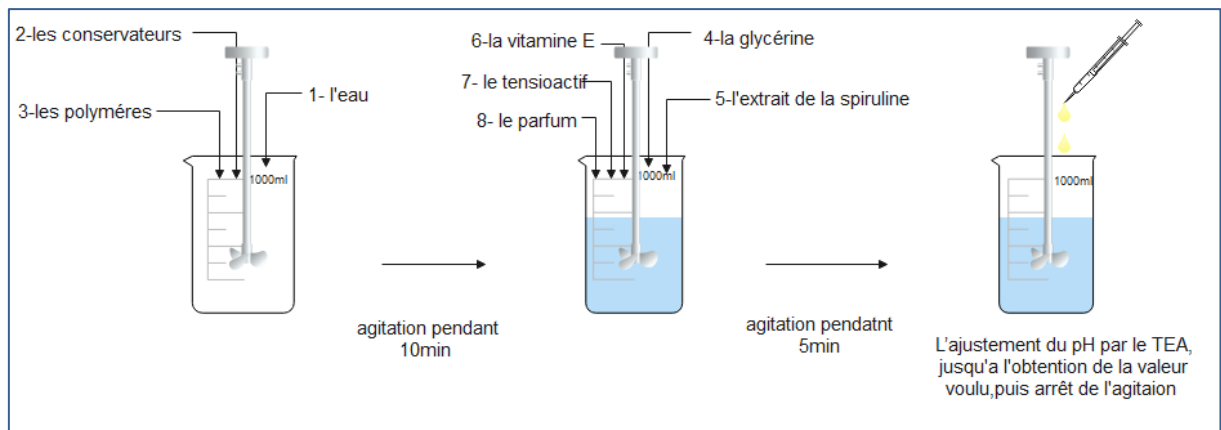
#### **II. 2.2.2.1. Mode opératoire**

On mélange l'eau, les polymères et le conservateur dans un bécher de 1000 ml, puis à l'aide d'un agitateur électrique, l'agitation est réalisée pendant 10 min en gardant une vitesse croissante puis constante jusqu'à 2000 rpm.

Par la suite, tout en poursuivant l'agitation, on rajoute la glycérine, l'extrait de la spiruline (10 ml), la vitamine E, puis le tensioactif, le parfum et on agite encore pendant 5 min.

Enfin, on termine par la mesure du pH et son ajustement avec le TEA, jusqu'à l'obtention de la valeur souhaitée comprise entre 5 et 7.5.

Le gel lavant, conservé dans un flacon fermé, a été placé sur une étagère de laboratoire, à une température ambiante.



**Figure 11** : Schéma de la procédure de formulation du gel lavant

## II. 2.3. Les contrôles de qualité du produit

Le but des tests de contrôle de qualité d'un produit de soin est d'être un guide pour le développement de formules ainsi que la préservation du produit par le choix du matériau d'emballage approprié; l'estimation de la validité aide à surveiller l'activité organoleptique, les propriétés physico-chimiques et microbiologiques, en fournissant des informations sur la fiabilité et la sécurité du produit (Kasum, 2016 ; Garreau, 2016).

### II. 2.3.1. Contrôle Organoleptique

Tout contrôle devrait débiter par une connaissance du produit, c'est-à-dire par l'observation de ses caractères organoleptiques qui peuvent être définies comme l'ensemble de ses caractéristiques perçues et évaluées par les organes des sens, à savoir l'aspect, l'apparence et l'odorat. Les propriétés organoleptiques d'un produit jouent un rôle fondamental dans sa perception avant usage ou consommation, dans son appréciation lorsqu'il est consommé ou utilisé (Lafri, 2018).

- Étude de l'aspect : c'est un examen visuel de la limpidité et de la fluidité des liquides, l'homogénéité des poudres et les dimensions des cristaux pour les solides.
- Étude de la couleur : c'est un examen visuel de la couleur du produit dans des conditions de lumière blanche. Si il y a une altération, nous pouvons constater une différence de couleur et ce au fil du temps.
- Étude de l'odeur : c'est un examen olfactif pour déterminer la propre odeur caractéristique du produit qui doit être préservée.

### II. 2.3.2. Les contrôles physico-chimiques

#### II. 2.3.2.1 Détermination du pH (potentiel hydrogène)

Le potentiel hydrogène ou pH, désigne une mesure de l'activité chimique des ions  $H^+$  (protons), c'est un indice qui mesure l'acidité ou l'alcalinité d'un liquide ou d'un produit. à cet effet, un liquide est acide lorsque l'indice est inférieur à 7, il est basique si l'indice est supérieur à 7 et neutre dans le cas où l'indice est égal à 7.

Le pH correspond au logarithme décimal négatif de la concentration en ion  $[H^+]$ , son principe repose sur la différence du potentiel existant entre électrode de verre et une électrode de référence plongées dans une même solution. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions  $H^+$ .

#### II. 2.3.2.1. Mode opératoire

La détermination du pH des 3 formulations de gel a été réalisée, le premier jour de fabrication et après 30 jours, en procédant selon les étapes suivantes :

- Rincer l'électrode et allumer le pH-mètre ;
- Remplir un récipient de mesure (bêcher) avec l'échantillon ;
- Introduire l'électrode dans le bêcher contenant l'échantillon;
- Lire la valeur du pH sur l'écran de l'appareil (pH-mètre).

#### II. 2.3.2.2. Détermination de la densité

La méthode de mesure de la densité est basée sur la détermination de la masse volumique d'un produit, placé dans une petite coupe « pycnomètre » d'un volume connu, à une température donnée. La densité d'un corps est égale au rapport de sa masse spécifique à celle de l'eau pure mesuré dans les mêmes conditions (Lafri, 2018).

##### II. 2.3.2.2.1. Mode Opératoire

La détermination de la densité est réalisée selon les étapes suivantes :

- Laver et sécher le pycnomètre, puis déterminer son poids vide en le pesant avec son bouchon à l'aide d'une balance;
- Remplir le pycnomètre avec de l'eau distillée et déterminer la masse apparente de son contenu en le pesant plein;
- Vider, laver et sécher le pycnomètre, l'échantillon à tester est versé dans le pycnomètre avec son couvercle muni de son trou de débordement. La masse du contenu est obtenue par le pesage à l'aide d'une balance, après avoir retiré soigneusement, avec un chiffon doux, les surplus de fluides, qui s'écoulent à travers le trou de débordement.

La densité (d) est calculée par la formule suivante :

$$d = (m_2 - m_0) / (m_3 - m_0)$$

$m_0$  : masse du pycnomètre vide, en g ;

$m_2$  : masse du pycnomètre avec l'échantillon à tester, en g ;

$m_3$ : volume du pycnomètre remplie en eau, en g ;

#### II. 2.3.2.3. Détermination de la viscosité

La viscosité est définie comme étant la mesure de la résistance d'un fluide à une déformation progressive. En d'autres termes, la viscosité décrit la résistance d'un fluide à l'écoulement (William et *al.*, 2020 ).

La viscosité des trois (3) échantillons de gel, a été mesurée une première fois à basse température ( $6 \pm 1^\circ\text{C}$ ) et une deuxième fois à une température ambiante ( $22.67 \pm 1.55^\circ\text{C}$ ). Cette mesure a été effectuée à l'aide d'un viscosimètre, constitué d'un moteur synchrone entraînant un mobile de forme cylindrique ou apparenté (disque), celui-ci, tournant à une vitesse constante autour de son axe et trempé dans l'échantillon.

#### **II. 2.3.2.3.1. Mode opératoire**

La mesure de la viscosité s'opère de la manière suivante :

- Mettre en marche le viscosimètre
- Faire la mise à zéro automatique : (il s'affiche alors: "CONFIGURER TEST VISCOSITÉ")
- Choisir les mobiles correspondants à nos échantillons et repérer les numéros y afférents sur l'appareil (mobile 4) ;
- Choisir la vitesse correspondante au mobile choisi précédemment (vitesse 10 rpm) ;
- Remplir le bécher avec le gel et le poser en dessous du mobile, en ayant soin de ne pas introduire des bulles d'air ;
- Placer la sonde de température dans le bécher ;
- Abaisser l'appareil avec la molette de droite de telle sorte que le mobile soit immergé dans le gel jusqu'au bas du repère figurant sur son axe ;
- Lancer l'essai en cliquant sur exécuter ;
- Attendre la fin de l'essai, puis valider la mesure ;
- Lire la valeur de viscosité ainsi que de la température sur l'écran de l'appareil.

#### **II. 2.3.3. Contrôles microbiologiques**

L'analyse microbiologique du produit est un moyen permettant de rechercher d'éventuelle présence de micro-organismes pouvant compromettre la sécurité sanitaire du produit. Ces analyses consistent en la recherche de :

- Germes totaux;
- Levures et moisissures.

##### **II. 2.3.3.1. Recherche des germes totaux**

###### **II. 2.3.3.1.1. Mode opératoire**

Les trois formulations ont été contrôlées microbiologiquement dans une hotte à flux laminaire dans des conditions aseptiques, tel que précisé ci-dessous :

- A l'aide d'une seringue stérile, on prélève 10 ml de l'échantillon à analyser dans un flacon et on ajoute 90 ml de diluant D/E (ceci représente la dilution 1/10) servant à la neutralisation des désinfectants et des conservateurs chimiques antimicrobiens ;
- Bien agiter le mélange pour une bonne homogénéisation, laisser agir pendant 15 min pour l'établissement d'une réaction entre le diluant et le conservateur ;
- un (1) ml de la solution préparée, a été prélevé, à l'aide d'une seringue stérile, puis déposé dans une boîte de pétri vide stérile ;
- Ajouter à la boîte un volume de 10 à 15 ml du milieu gélosé PCA (Plate Count Agar) ;

- Faire des mouvements circulaires de va et vient et en forme de huit pour bien homogénéiser le milieu et l'inoculum ;
- Après solidification, les boîtes sont incubées à  $31\pm 1^{\circ}\text{C}$  pendant 72 heures, dans l'étuve thermostatée, en même temps un témoin ne contenant pas le gel est inclus.

La lecture :

- Les colonies se présentent sous forme lenticulaire ayant poussé en masse.
- on procède à la comparaison des boîtes avec celles du témoin.

## **II. 2.3.3.2. Recherche des levures et moisissures**

### **II. 2.3.3.2.1. Mode opératoire**

- On dépose 1 ml de la dilution préparée précédemment dans une boîte de pétri ;
- Ajouter à la boîte un volume de 10 à 15 ml de milieu de culture Sabouraud ;
- Faire des mouvements circulaires pour bien homogénéiser le milieu gélosé et l'échantillon analysé ;
- Après solidification, les boîtes sont incubées à  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$  pendant 5 jours dans une étuve thermostatée.

La lecture :

- on compare les boîtes avec celles du témoin.

### **II.2.3.4. Analyse microscopique**

L'étude microscopique est effectuée avec une microscopie optique, L'examen a été réalisé directement, en plaçant une goutte de gel entre lame et la lamelle, sans oublier d'exercer une légère pression sur la lamelle pour expulser les bulles d'air et avoir suffisamment de transparence, ensuite, on observe à un grossissement égale à  $G \times 100$ .

### **II. 2.3.5. Analyse rhéologique**

La rhéologie est la science qui étudie l'écoulement et la déformation des fluides et plus précisément la viscosité des matériaux sous l'action des contraintes physiques extérieures.

Elle est largement utilisée dans l'industrie cosmétique, par l'évaluation du contrôle de la qualité des produits de soins de manière efficace.

La caractérisation rhéologique est d'une importance considérable, car elle exprime le comportement du produit en termes de stabilité, d'adhérence et de consistance ou de fluidité.

### II. 2.3.5.1. Le Rhéomètre

Un rhéomètre est un appareil de laboratoire capable de faire des mesures relatives à la rhéologie d'un fluide, Il applique un cisaillement à l'échantillon et permet d'étudier fondamentalement les propriétés d'écoulement d'un produit semi-solide en réponse à une force appliquée.

- Il dispose de :
  - ↳ Deux modes de mesure : rotation et oscillation ;
  - ↳ Des géométries de cylindres coaxiaux ou cellule de couette, plan-plan ou cône plan.
- Il est muni de connexions situées à l'arrière de la tête du rhéomètre pour le relier :
  - ↳ À un dispositif régulateur de température à effet Peltier, permettant de chauffer ou refroidir l'échantillon à la température désirée ;
  - ↳ À un micro-ordinateur pour pouvoir le piloter au moyen du logiciel fourni avec l'appareil.

Le test rhéologique retenu pour le gel est le test d'écoulement, dont l'objectif est de caractériser le comportement rhéologique du gel, lorsque celui-ci est en écoulement variable.

On étudie alors la variation de la viscosité en fonction de la variation de la vitesse de cisaillement et le modèle rhéologique auquel il obéit, étant donné que tout fluide a sa propre courbe d'écoulement (Novak, 2010 ; Ben Azouz, 2012)

### II. 2.3.5.2. Protocole du test d'écoulement

- Installation et démarrage de l'appareil :
  - ↳ Le rhéomètre utilisé dans le laboratoire est de type cône-plan (Anton Paar) relié à un système de refroidissement qui fixe la température à 20°C.
  - ↳ Le dispositif est piloté par un micro-ordinateur utilisant le logiciel Rheo-Plus.
- Réglage de l'écart :
  - ↳ La distance entre le sommet du cône et le plan doit être égale à 0.121mm et elle est configurée par le logiciel.
- Mise en place de l'échantillon :
  - ↳ à l'aide d'une spatule, on place 0.5 g d'échantillon sur le plateau du rhéomètre directement sous le mobile (cône).
- La tête du rhéomètre est abaissée sur l'échantillon et le cadran indicateur de données doit mentionner le même écart configuré.
- Couper les excès de l'échantillon à partir du bord avec une spatule.

### II. 2.3.5.3. La courbe d'écoulement

Le logiciel détermine les tâches qui doivent être effectuées, aussi il nous permet d'atteindre, par le biais de fenêtres, entre autre :

- a) Measuring: fenêtre pour choisir les variables d'entrées:
  - Le système de mesure : Flow curve (courbe d'écoulement) => Contrôler la vitesse de cisaillement.
  - Le nombre de points : on fixe le nombre de points à 28.
  - Le temps de mesure entre les points : diminution du temps, en échelle logarithmique, à partir de 30 s (on commence par un temps élevé pour respecter la déstructuration à faible cisaillement pour finir par un temps très petit pour respecter la déstructuration à fort cisaillement).
  - La variation de la vitesse de cisaillement : de 0.0001 à 6000 s<sup>-1</sup> en échelle logarithmique (6000 est la vitesse maximale que peut atteindre le rhéomètre).
- b) Diagram : il permet l'obtention d'une courbe de viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement et nous donne le choix des couleurs, des tailles et des valeurs de sorties.
- c) Analysis: elle est lancée pour assurer une tâche bien définie, à savoir: effectuer une analyse complète et automatisée du comportement d'un fluide grâce au modèle rhéologique inclus dans le logiciel: le choix s'est porté sur le modèle de carreau « La loi de Carreau permet de décrire la viscosité apparente d'un fluide non-newtonien. Ce modèle permet l'ajustement d'un rhéogramme sur toute la gamme de cisaillement. »
- d) Table : c'est l'affichage de tous les résultats obtenus, ainsi que la date, l'heure, le type de tests et la température.

Une fois les mesures réalisées, les résultats sont enregistrés dans une base de données pour une utilisation ultérieure.

### II. 2.3.6. Test du pouvoir anti-oxydant

L'oxydation fait partie d'une réaction d'oxydoréduction qui transfère des électrons d'une substance vers un agent oxydant. Cette réaction peut produire des radicaux qui entraînent des réactions en chaînes destructrices, les anti-oxydants sont capables d'arrêter ces réactions en chaîne en se réduisant avec les radicaux et inhibant ainsi leur action (Lafri, 2018).

L'activité anti-oxydante des trois formulations du gel à base de spiruline a été déterminée par la méthode de piégeage du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> scavenging activity).

#### II. 2.3.6.1. Principe

L'évaluation de la capacité du piégeage du peroxyde d'hydrogène est fondée sur l'absorption de cette molécule dans le domaine de l'UV. Comme la concentration du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> est diminuée par les composés piégeurs.

Le piégeage du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) est déterminé par la méthode décrite par Ruch et *al.* (1989). Une solution de  $H_2O_2$  est préparée dans un tampon phosphate (pH=7). Le mélange réactionnel est composé d'un volume de  $H_2O_2$  et une concentration de l'échantillon. La réaction des échantillons avec le peroxyde d'hydrogène est observée par un changement de la couleur initiale du milieu réactionnel (Pimple, 2020). L'acide ascorbique est utilisé comme standard (Bumrela et *al.*, 2011).

### II. 2.3.6.2. Mode opératoire

1ère étape: préparation d'une dilution 1/10 des trois gels:

- Mettre 100  $\mu$ l de l'échantillon dans un tube à essai prélevé à l'aide d'une micropipette ;
- rajouter 900  $\mu$ l de l'eau distillée.

2ème étape: préparation des milieux réactionnels

- tube d'échantillon : mettre 600  $\mu$ l d' $H_2O_2$  puis rajouter 100  $\mu$ l de la dilution préparée prélevée à l'aide d'une micropipette et compléter le volume avec du tampon phosphate (pH=7) jusqu'à 4 ml.
- tube de contrôle: mettre 600  $\mu$ l d' $H_2O_2$  et compléter le volume avec du tampon phosphate (pH =7) jusqu'à 4 ml.
- tube du blanc : mettre 4ml du tampon phosphate (pH =7).

3ème étape :

- Incubation pendant 10 min à température ambiante.

4ème étape : la lecture

L'activité de piégeage de  $H_2O_2$  est estimée qualitativement en observant un changement de la couleur initiale du milieu réactionnel des tubes des échantillons à une couleur bleu clair.

Remarque : la mesure quantitative du pouvoir anti-oxydant n'a pas pu être réalisée en raison d'un problème au niveau du spectrophotomètre.



## Chapitre III

# **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## III.1.Résultats des contrôles de qualité du produit

### III.1.1. Résultats des contrôles organoleptiques

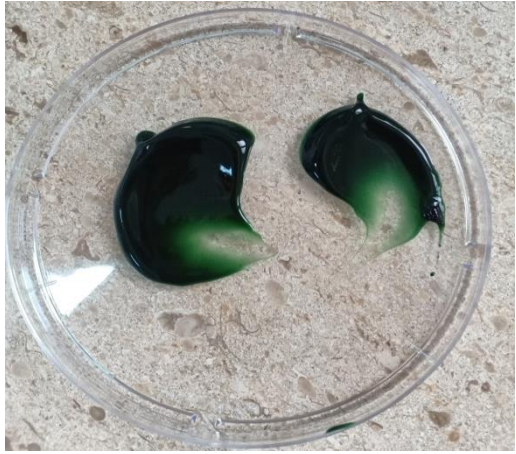
#### III.1.1.1. Propriétés organoleptiques des gels hydratants formulés

L'évaluation des propriétés du contrôle sensorielle, à savoir l'aspect, l'odeur et la couleur, a été établie en comparant chaque formulation de gel, individuellement entre le premier jour et le 30<sup>ème</sup> jour, ainsi qu'entre les trois formulations élaborées.

A cet effet, les résultats obtenus pour ces différentes propriétés (couleur, odeur et aspect) sont résumés dans le tableau V.

**Tableau V** : Résultats des différents caractères organoleptiques (couleur, odeur et aspect) des trois (03) formulations de gel.

Paramètres Formulations	Période	Couleur	Odeur	Aspect
1 <sup>ère</sup> formulation (Gel 1)	J <sub>1</sub> [figure 12 (A)]	Vert très foncé	Caractéristique du produit (le parfum)	Liquide-visqueux brillant. Absence de granulation.
	J <sub>30</sub> [figure 12(B)]	Vert très foncé légèrement éclairci	Altération de l'odeur (désagréable)	Liquide-visqueux moins brillant Formation d'une couche bleue en surface
2 <sup>ème</sup> formulation (Gel 2)	J <sub>1</sub> [figure 13 (A)]	Vert foncé	Caractéristique du produit (le parfum)	Liquide-visqueux brillant avec granulation
	J <sub>30</sub> [figure 13(B)]	Vert foncé légèrement éclairci	Légère modification de l'odeur (désagréable)	Liquide-visqueux brillant avec granulation
3 <sup>ème</sup> formulation (Gel 3)	J <sub>1</sub> [figure 14 (A)]	Vert foncé	Caractéristique du produit (le parfum)	Liquide plus visqueux brillant avec granulation
	J <sub>30</sub> [figure 14 (B)]	Vert foncé	Caractéristique du produit (le parfum)	Liquide plus visqueux brillant avec granulation



(A) : le premier jour ( $J_1$ )



(B) : après 1 mois ( $J_{30}$ )

Figure 12 : Aspect du 1<sup>er</sup> gel

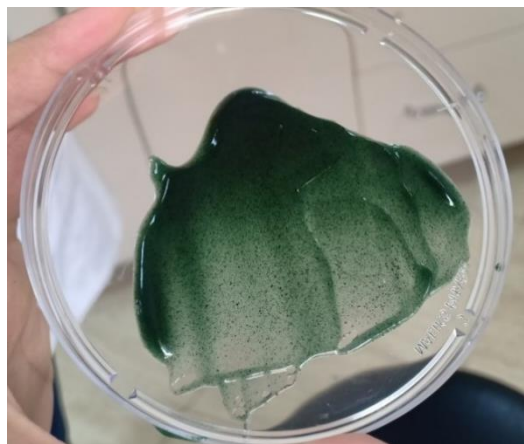


(A) : le premier jour ( $J_1$ )



(B) : après 1 mois ( $J_{30}$ )

Figure 13 : Aspect du 2<sup>ème</sup> gel



(A) : le premier jour ( $J_1$ )



(B) : après 1 mois ( $J_{30}$ )

Figure 14 : Aspect du 3<sup>ème</sup> gel

Les données du tableau V et les figures ci-dessus font ressortir certaines observations liées aux propriétés organoleptiques des trois formulations réalisées, à savoir:

- La basse température n'a pas eu d'effet visuellement détectable sur la stabilité de l'aspect des gels (4-6°C), des changements ont été observés, lorsque ils sont soumis à une température plus élevée (température ambiante 21-25°C).
- L'odeur a changé lorsque le premier et le deuxième gel ont été soumis à une température ambiante, de plus, la croissance de micro-organismes semble être une cause possible de génération d'odeurs.
- Des différences ont été relevées dans l'aspect du 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> gel par la formation de granulations, dû essentiellement à la qualité de la poudre de spiruline (la matière première acquise et utilisée pour le premier gel était d'une texture plus fine que celle acquise et utilisée pour le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> gel).
- Le premier gel a connu une formation au niveau de sa surface, d'une couche bleuâtre (figure 15), associée à une altération de l'odeur. Il s'agit d'une contamination microbienne qui a été confirmée dans la partie résultats de l'analyse microbiologique.
- Il n'y a pas de changement notable de la couleur dans les trois (03) formulations, dans les conditions testées, quant à l'intensité de la couleur verte obtenue, elle est essentiellement liée à la couleur du produit ainsi que du pourcentage adopté.

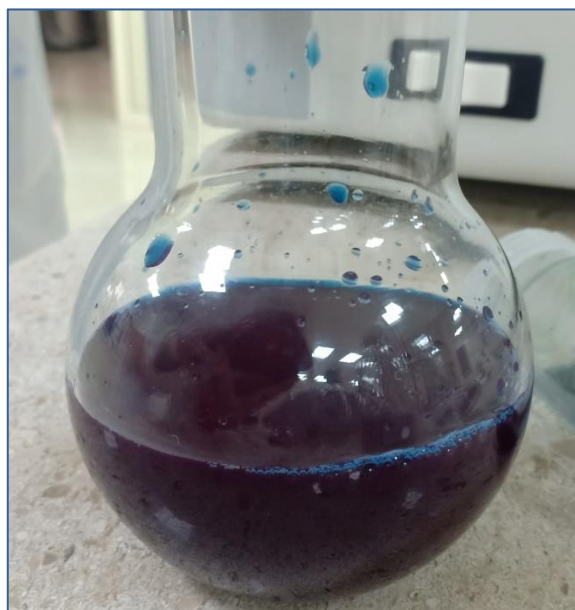
Sur les 3 formulations de gels réalisés, la 3<sup>ème</sup> n'a subi aucune altération de ses propriétés organoleptiques, Ainsi, on peut admettre que la troisième formulation est la plus stable et la mieux adaptée pour la préparation d'un gel à base de spiruline.



**Figure 15** : Aspect de la couche bleuâtre développée sur la surface du 1<sup>er</sup> gel après un mois

### III.1.1.2. Propriétés organoleptiques du gel lavant

L'extrait aqueux de phycocyanine obtenu à partir de 4g de poudre de spiruline est sous forme liquide d'une couleur bleuâtre (figure 16).



**Figure 16** : L'extrait aqueux de la phycocyanine obtenu après extraction.

Les résultats obtenus pour les différentes propriétés (couleur, odeur et aspect) du gel lavant sont résumés dans le tableau VI.

**Tableau VI** : Résultats des différents caractères organoleptiques (couleur, odeur et aspect) du gel lavant à base de l'extrait aqueux de phycocyanine

Paramètres Formulation	Période	Couleur	Odeur	Aspect
Gel lavant à base de phycocyanine	J <sub>1</sub> [figure 17 (A)]	Bleu clair non translucide	Caractéristique du produit (parfum)	- Liquide visqueux - Peu moussant
	J <sub>2</sub> (Le lendemain) [figure 17(B)]	Gris non translucide	Odeur très désagréable	- Liquide visqueux - Pas de mousse

D'une manière générale, la formulation du gel lavant a donné suite à des modifications importantes des paramètres organoleptiques, témoignant de la grande instabilité de cette formulation, ce qui ne nous a pas permis de réaliser les autres contrôles complémentaires sur ce gel lavant.

Selon l'un des experts du laboratoire Venus, ces modifications peuvent être justifiées de la manière suivante:

- L'absence de mousse est due à l'insuffisance de la quantité de tensioactif ou bien à la quantité élevée de la glycérine incorporée dans le gel lavant.
- l'intensité de la couleur de phycocyanine (bleu) est responsable de l'apparence non translucide du gel préparé.

- Des modifications ont été observées sur la couleur et l'odeur du gel (figure 17), après 24h de sa préparation. La disparition de la couleur bleue est générée par la dégradation de la phycocyanine qui est due à une contamination bactérienne et aux effets des rayons UV (Pottecher , 2014 ; Cuellar-Bermudez et *al.*, 2015).

La stérilisation par la chaleur ou les ultraviolets de la phycocyanine en milieu aqueux, n'était pas possible car elle la dégrade et lui fait perdre toute son efficacité après ouverture de conditionnement (Aourir, 2017).



(A) : le premier jour (J<sub>1</sub>)



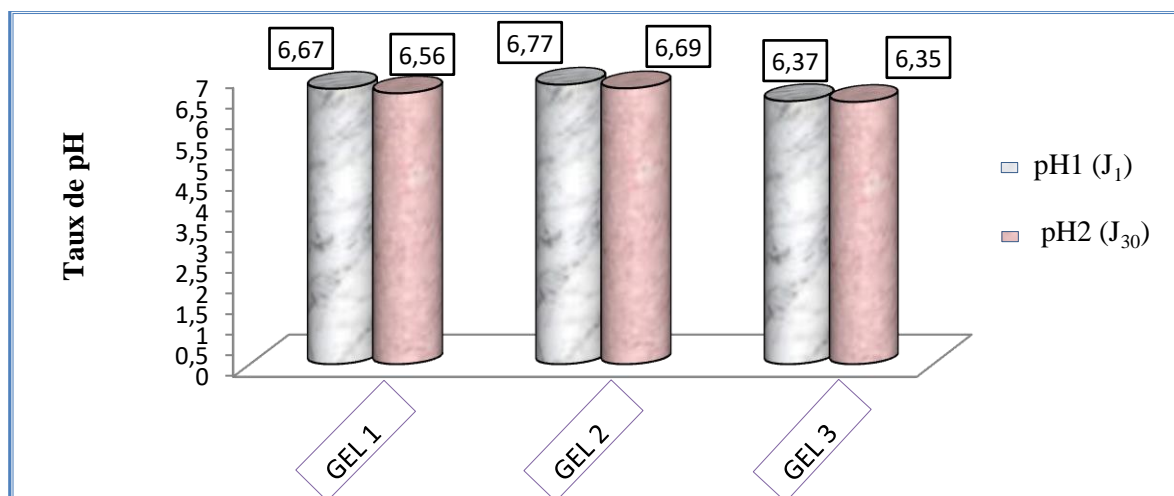
(B) : le lendemain (J<sub>2</sub>)

**Figure 17** : Aspect du gel lavant

### III.1.2. Résultats des contrôles physico-chimiques

#### III.1.2.1. Détermination du pH (potentiel hydrogène)

Les résultats obtenus pour la mesure du pH des trois (3) formulations de gel du premier et 30<sup>ème</sup> jour sont représentés dans la figure 18.



**Figure 18** : Représentation graphique des valeurs de pH obtenues pour les trois gels formulés

Les valeurs de pH des trois (3) gels ont été mesurés lors de la fabrication (pH1) et après 30 jours (pH2), ce qui nous a permis de constater une diminution des valeurs de pH pour les deux premières formulations ( $6,615 \pm 0,07778175$  pour le 1<sup>er</sup> et  $6,73 \pm 0,05656854$  pour le 2<sup>ème</sup>) plus significative que pour la 3<sup>ème</sup> formulation, dont les valeurs sont restées presque identiques ( $6,36 \pm 0,01414214$ ).

Aussi, La diminution des valeurs de pH observés dans le temps pour les deux premières formulations indique une possible contamination microbienne.

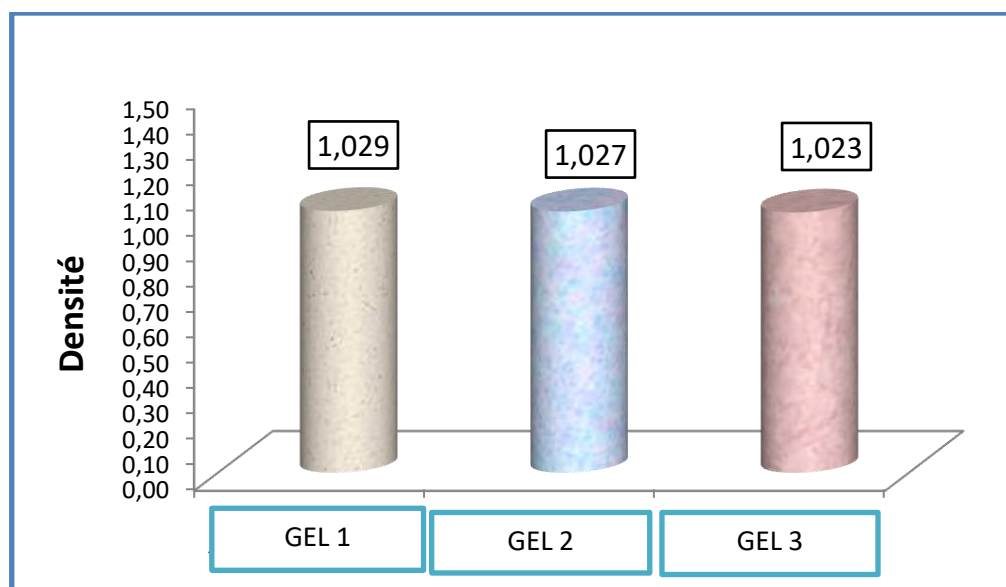
Il est à signaler, que la fourchette des valeurs de pH requises pour les préparations dermo-cométologiques et compatibles avec le pH cutané, se situe entre 5,0 et 7,0 (Novak, 2010; Coulibaly, 2018), à ce titre, toutes les valeurs obtenues, y compris celles intermédiaires non reproduites dans les présents résultats, sont considérées comme acceptables pour des produits destinés au soin de la peau car elles oscillaient entre 6,35 et 6,77.

L'étude de la stabilité du pH au cours du temps est indispensable, car elle peut être un bon signe de non-prolifération microbienne. En effet selon la littérature, Rosso et *al.* (1995) ont montré que la stabilité du pH au cours du temps est un marqueur qui pourrait être un indicateur de la non-contamination microbienne. Dans notre cas, Cette étude cinétique n'a pas pu être finalisée en raison de la courte période de stage qui nous a été accordée.

Ainsi, la stabilité chimique des trois (3) formulations a été validée pour une durée de un (1) mois (période de stage au niveau de Laboratoire *Venus*) en termes de pH obtenus.

### III.1.2.2. Détermination de la densité

Les résultats obtenus pour la mesure de la densité, à environ 20°C, des trois (3) formulations de gel, sont résumés dans la figure 19.



**Figure 19** : Représentation graphique des résultats de densités obtenues pour les trois gels formulés

La mesure de la masse volumique (densité) vérifie la pureté et la concentration d'un échantillon et donne des renseignements sur sa composition, de plus, elle fournit des informations essentielles sur la qualité, l'homogénéité et la sécurité des produits.

Selon les normes du laboratoire *Venus*, la masse volumique d'un gel cosmétique est égale à 1 à une température d'environ 20 °C, tout écart par rapport à cette valeur, avec des tolérances (0,010 - 0,030), indique la présence d'impuretés dans l'échantillon.

Dans notre cas, pour les 3 formulations de gel, la densité avoisine la valeur de 1, ce qui signifie absence d'impuretés dans nos échantillons.

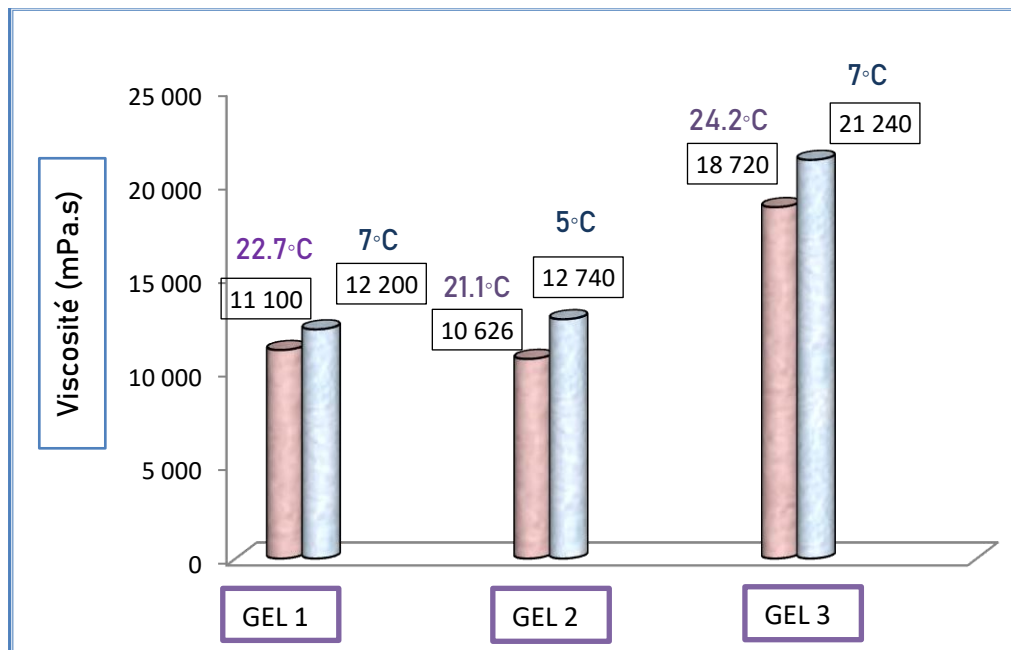
### III.1.2.3 Détermination de la viscosité

Les résultats obtenus pour la mesure de la viscosité et la température d'analyse des trois (3) formulations de gel sont résumés dans le tableau VII.

**Tableau VII** : Les résultats de la viscosité et de la température des 3 formulations du gel.

Paramètres Formulation	Température (°C)	viscosité (mPa.s)
La 1 <sup>ère</sup> formulation (gel 1)	22,7	11 100
	7	12 200
La 2 <sup>ème</sup> formulation (gel 2)	21,1	10 626
	5	12 740
La 3 <sup>ème</sup> formulation (gel 3)	24.2	18 720
	7	21 240





**Figure 20** : Représentation graphique des résultats de la viscosité obtenus pour les 3 gels formulés

La mesure de la viscosité détermine si le gel est suffisamment visqueux et facile à étaler, selon l'usage qui en sera fait. Nous avons remarqué dans les résultats de nos expériences que plus le gel est épais, plus la viscosité est importante, et vice versa, et que la troisième formulation est la plus convenable en matière de viscosité, car elle contient une quantité plus élevée de polymère (carbomère), qui est l'agent de contrôle de la viscosité.

D'après nos différentes observations (figure 20), la température joue un rôle crucial dans la mesure de la viscosité, étant donné qu'elle a augmenté à basse température pour les trois formulations et le contraire est vrai. Ainsi on admet qu'il existe une relation inversement proportionnelle entre la variation de la température et la viscosité, le gel présente donc un comportement thermo-fluidifiant, tel que mentionné dans les travaux de Coulibaly (2018), qui avait rapporté que la viscosité des gels diminuait avec l'augmentation de la température.

### III.3. Résultats de l'analyse microbiologique

Les résultats du contrôle microbiologique des 3 formulations réalisées sont récapitulés dans le tableau VIII ci-après, cette analyse concerne la recherche des germes totaux ainsi que des levures et moisissures, pratiquées le jour de leurs formulations mis à part le premier gel qui a été testé suite à l'ajout du conservateur, effectué 24h après. La lecture des boîtes de Pétri a été réalisée après 72 heures d'incubation à 31°C pour les germes totaux et à 25 °C pendant 5 jours pour les levures et moisissures.

**Tableau VIII** : Résultats du contrôle microbiologique des 3 formulations du gel

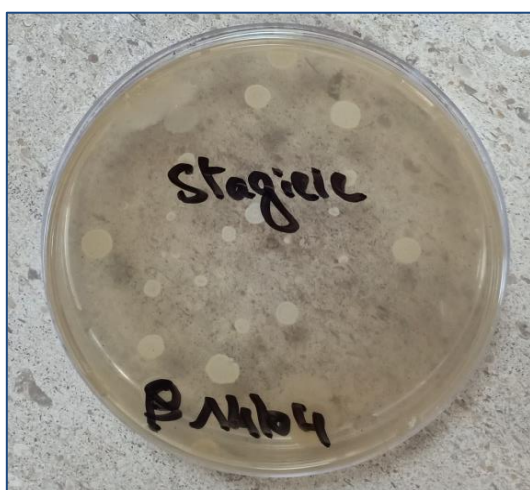
Paramètres / Formulation	Les germes totaux	Les levures et moisissures
La 1 <sup>ère</sup> formulation (gel 1)	++	-
La 2 <sup>ème</sup> formulation (gel 2)	+	-
La 3 <sup>ème</sup> formulation (gel 3)	-	-

Légende :

++ : Contamination importante ;

+ : légère contamination ;

- : Absence de contamination.



(A)



(B)

**Figure 21** : les contaminations présentes dans les boîtes de milieu PCA du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>ème</sup> gel après 72 heures d'incubation

(A) La boîte de pétri du gel 1

(B) La boîte de pétri du gel 2

Les résultats de l'analyse microbiologique des trois (3) formulations du gel, font ressortir une absence de levures et de moisissures, par ailleurs il a été observé la présence de colonies bactériennes dans le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>ème</sup> gel (figure 21) ce qui confirme l'interprétation des résultats de pH, et justifie la régression du taux de pH entre le 1<sup>er</sup> jour et le 30<sup>ème</sup> jour.

Ces contaminations, plus importantes dans la boîte de pétri du premier gel, sont probablement dues :

- Au manque d'asepsie dans l'endroit où la préparation du gel a été effectuée
- à l'ajout de produit naturel (poudre de spiruline), générant ainsi un apport de charge microbienne, la stérilité de la poudre de spiruline utilisée ne peut pas être garantie durant sa culture, sa production et son stockage.
- A la présence d'eau et de composants organiques dans la formulation, favorisant ainsi la croissance de micro-organismes.
- au choix du conservateur et de sa dose qui doit être adéquate (efficace), car certains peuvent être partiellement ou totalement inactifs, laissant le produit (gel) sans la protection attendue.

Il y'a lieu de signaler que lors de la fabrication du premier gel, le conservateur rajouté après 24 h, n'a pas garanti une bonne protection de celui-ci, donc nous avons déduit que le conservateur doit être ajouté lors de la phase de fabrication du produit.

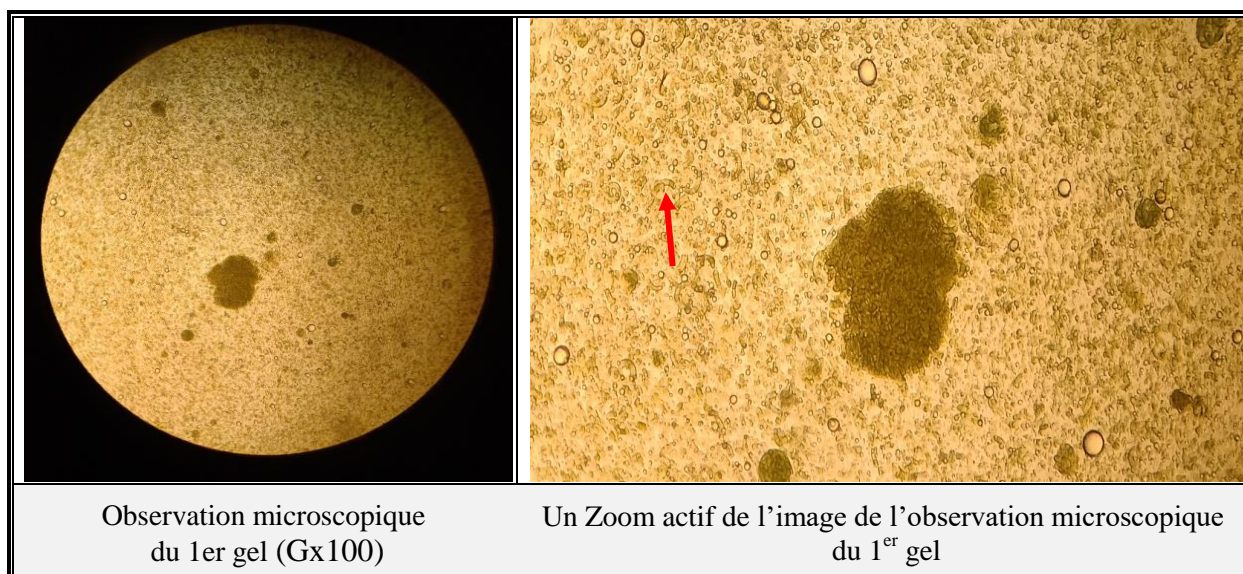
Pour la troisième formulation du gel nous avons observés une absence de toute contamination après un (1) mois de sa préparation, on suppose que cela revient à l'augmentation de la concentration du 2<sup>ème</sup> conservateur (Kathon CG).

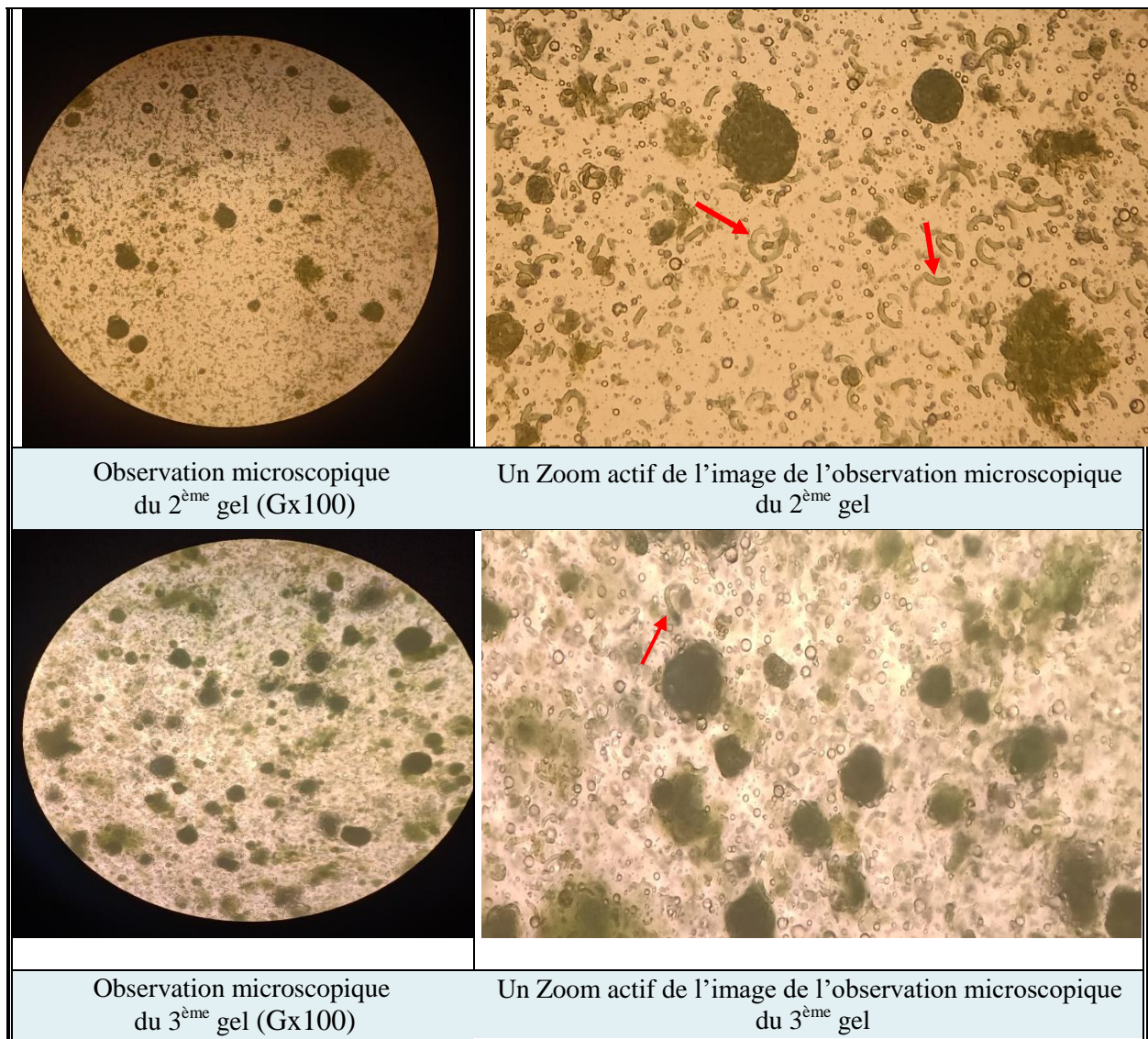
Donc la détermination du type de conservateur et sa concentration efficace, est indispensable pour assurer une protection satisfaisante du produit depuis la fabrication jusqu'aux consommateurs.

Il est idéal qu'aucune contamination ne soit trouvée, cependant selon Novak, (2010), dans ce type de produit, une faible charge de colonies peut être admissible (la limite maximale tolérée est :  $5 \times 10^3$  UFC/g).

### III .4. Résultats de l'analyse microscopique

Les résultats observés sous microscope optique montrent une différence dans la dispersion des particules de spiruline dans les trois(3) formulations du gel, tel que représentés dans la figure 22 ci-dessous :





**Figure 22** : Observation microscopique des 3 formulations du gel sous microscope optique

→ Les flèches montrent les particules de spiruline.

Les points d'une couleur sombre représentent un conglomérat de particules de spiruline distinctive entre les 3 formulations du gel réalisés, dont la plus importante se trouve au niveau du 3<sup>ème</sup> gel.

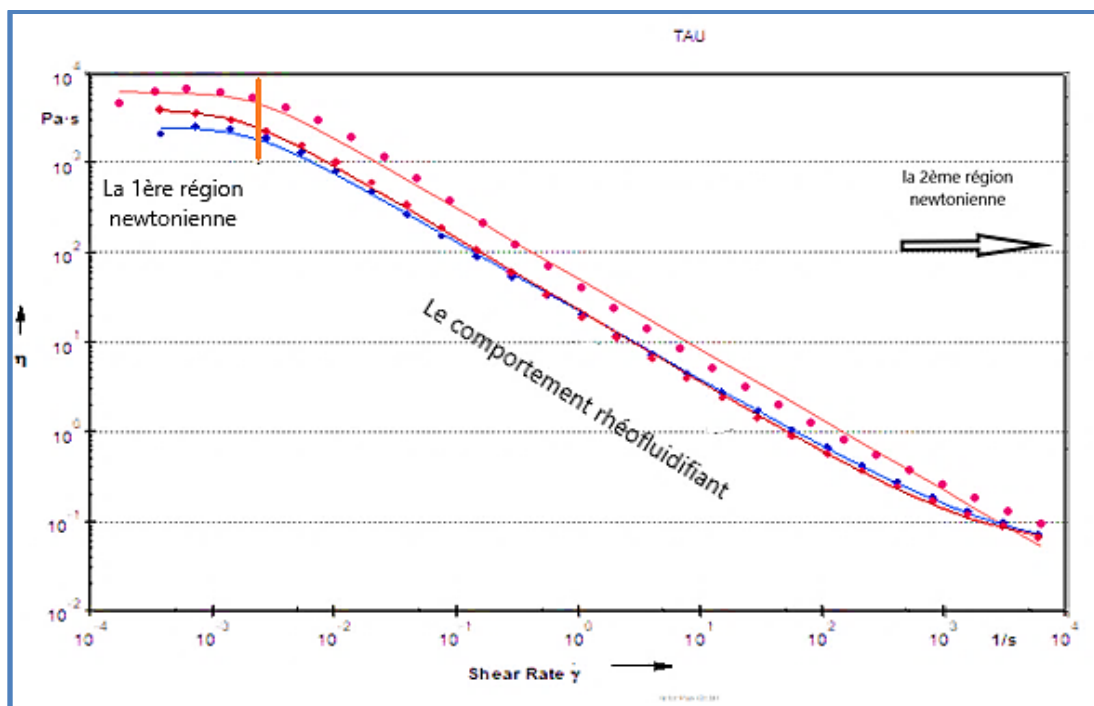
Cela est probablement dû à :

- La différence de la texture et de la granulométrie de la poudre de spiruline achetée entre le 1<sup>er</sup> paquet qui a servis à la préparation du Gel 1 et le 2<sup>ème</sup> paquet qui a été utilisé pour préparer le Gel 2 et le Gel 3.
- La viscosité du gel qui peut avoir une influence sur la dispersion des particules, car le gel le plus visqueux contient plus de rassemblements de particules de spiruline en amas tel qu'on le remarque sur la 3<sup>ème</sup> formulation, autrement dit, plus le gel est visqueux, plus il y aura une mauvaise dispersion des particules de spiruline
- Une homogénéisation insuffisamment établis lors de la procédure de formulation.

### III.5. Résultats de l'analyse rhéologique

Les données rhéologiques des trois gels mesurées à 20°C, ont permis d'obtenir des rhéogrammes de viscosité (pa.s) en fonction de la vitesse de cisaillement (1/s) des trois (3) formulations (figure 23) :

- Le trait en bleu représente la courbe d'écoulement de la première formulation du gel ;
- Le trait en rouge représente la courbe d'écoulement de la deuxième formulation du gel.
- Le trait en rose représente la courbe d'écoulement de la troisième formulation du gel.



**Figure 23** : Courbes d'écoulements des trois formulations de gel

D'après la figure 23 ci-dessus, les trois rhéogrammes ont montré une diminution de la viscosité au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse de cisaillement auquel est soumis chaque gel.

Aussi, à partir de l'observation des modèles des rhéogrammes, les trois formulations de gels présentent un caractère rhéofluidifiant et de ce fait, sont classés comme fluides non newtoniens. Dans ce même contexte, Coulibaly (2018) a rapporté que le comportement rhéofluidifiant est souvent associé à un bon étalement du gel.

L'analyse des courbes d'écoulement, par l'utilisation du modèle carreau, a fait ressortir trois (3) régions définies:

- 1<sup>ère</sup> région newtonienne.
- Le comportement rhéofluidifiant.
- 2<sup>ème</sup> région newtonienne.

Les courbes commencent par une 1<sup>ère</sup> région newtonienne constante, qui permet la lecture de la viscosité en cas de repos, soit entre  $10^3$  et  $10^4$ , plus précisément 2560,1 Pa.s pour le premier gel, 3939 pa.s pour le second et 5996.5 pa.s pour le troisième.

Le comportement rhéofluidifiant est identifié au niveau du fléchissement des trois courbes (la vitesse se situe entre  $10^{-3}$  et  $10^{-2}$ ), qui empruntent une même trajectoire pour les 2 premières formulations ce qui dénote de la similitude des viscosités, qui nous permet d'affirmer que le procédé de la formulation est reproductible.

En ce qui concerne la 2<sup>ème</sup> région newtonienne qui n'est pas claire au niveau des courbes, elle est constante et représente la viscosité en cas d'un fort cisaillement. Selon le professeur *Hadj sadouk*, une viscosité importante dans cette région, indique la présence des agents de densité d'où une relation proportionnelle entre la viscosité et la densité. Cette région ne peut être perçue qu'au-delà d'une vitesse du rhéomètre dépassant les 6000 s-1, or dans notre cas, l'appareil de mesure se limite à 6000 s-1.

Enfin, selon les affirmations du *Pr Hadj Sadouk*, la viscosité d'un gel doit être aux alentours de  $10^4$  pour qu'il atteigne la consistance idéale pour son emballage, donc, étant donné que la valeur du 3<sup>ème</sup> gel est proche au  $10^4$ , ce dernier présente la meilleure consistance.

### **III.6. Résultats du test anti-oxydant**

Après l'incubation des tubes à essais contenant le mélange réactionnel du test anti-oxydant, nous avons observé que les tubes d'échantillons et de contrôle ont présenté des couleurs différentes (figure 24).

Le tube de contrôle qui ne renferme pas d'anti-oxydant, reste toujours de couleur transparente, par contre, pour les tube de l'échantillon du 3<sup>ème</sup> formulation du gel, un changement de couleur a été constaté, passant d'une couleur légèrement verdâtre translucide à une couleur bleu clair, ce qui démontre qualitativement la présence d'anti-oxydants.

Pour la 2<sup>ème</sup> formulation du gel, nous avons observé une légère modification de la couleur tendant vers le bleu mais moins intense que celle du 3<sup>ème</sup> gel, quant à la 1<sup>ère</sup> formulation du gel, elle n'a subi aucun changement de couleur ce qui indique l'absence d'anti-oxydants.

Nous avons retenu les résultats en tant que caractérisation biochimique qualitative, quant au dosage quantitatif, il n'a pu être accompli en raison de la défectuosité du spectrophotomètre du laboratoire, qui affichait des chiffres erronés.



Avant incubation



Après incubation

A- Mélange réactionnel du contrôle



Avant incubation

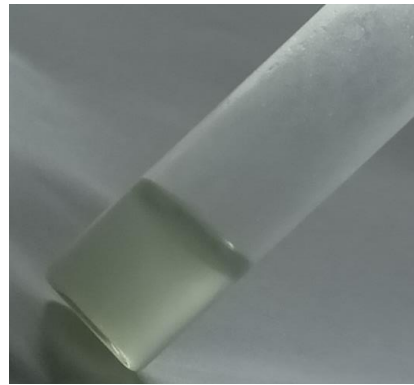


Après incubation

B- Mélange réactionnel du gel 1

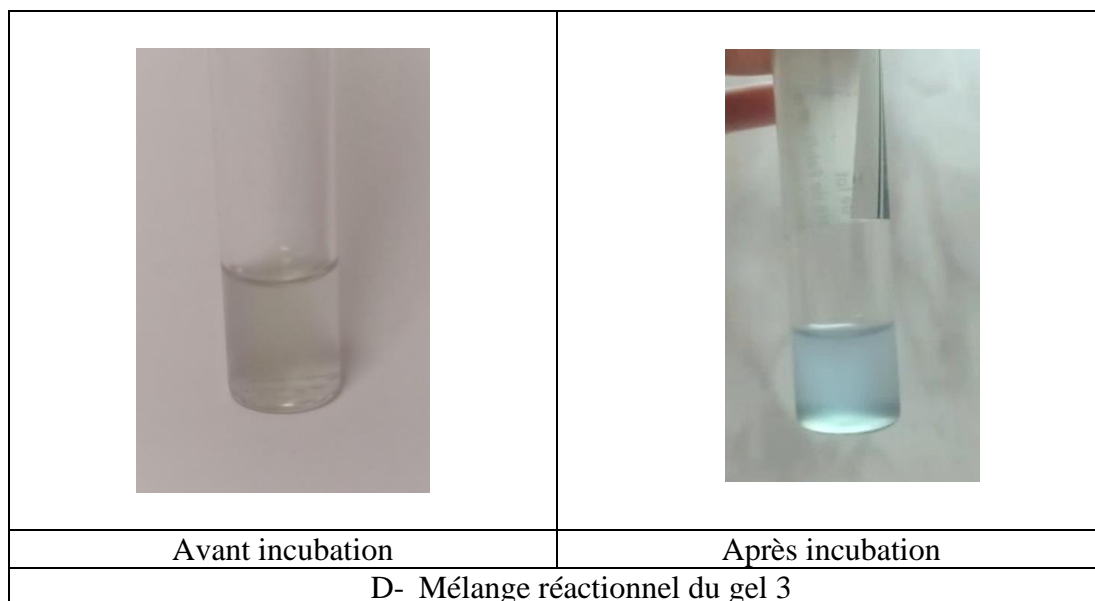


Avant incubation



Après incubation

C- Mélange réactionnel du gel 2



**Figure 24** : Fluctuation de la couleur des tubes réactionnels soumis au test anti-oxydant.

Il existe plusieurs études *in vitro* et *in vivo* évaluant le pouvoir de la spiruline dans le processus du stress oxydant.

Le pouvoir antioxydant de la spiruline semble être lié à la synergie des différents composants antioxydants à savoir : le  $\beta$ -carotène, le tocophérol, et les composés phénoliques (Martínez-Galero et *al.* 2016). Ainsi, les travaux de Park et *al* (2018) et Gabr et *al* (2020) sur la poudre de la spiruline signalent que les propriétés prometteuses antioxydantes et de piégeage des radicaux libres de *Spirulina platensis* peuvent être dues à sa teneur élevée en pigments naturels et particulièrement en phycocyanine.

Aussi, les travaux de Finamore et *al* (2015) assurent que la spiruline a une puissante activité anti-oxydante *in vitro* et que cette activité est fortement corrélée avec l'activité des enzymes piègeuses telles que le SOD, CAT, GPx et APx.



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

De ce qui précède, les résultats des études de certaines propriétés, pour trouver une application dermo-cosmétique à la poudre de spiruline, ont fait ressortir les principales conclusions :

- La basse température (en dessous de 6°C) permet de maintenir la stabilité des paramètres organoleptiques des gels formulés, dont l'aspect général est étroitement lié à la texture, la granulométrie et le pourcentage de poudre de spiruline utilisée.
- les valeurs du pH des trois formulations sont restées conformes à celles recommandées par Coulibaly (2018) et Novak (2010) et ce malgré la diminution du taux de pH dans le gel 1 et le gel 2 enregistrée après 30 jours, due à une contamination microbienne. Aussi, Il existe une relation proportionnelle entre la quantité des polymères et la viscosité et une relation inversement proportionnelle entre la variation de la température et la viscosité.
- L'apparition de congglomérats dans les gels formulés, plus particulièrement dans le gel 3, est fortement liée à la texture et de la granulométrie de la poudre de spiruline utilisée, la viscosité du gel ou bien à une homogénéisation insuffisamment établis lors de la procédure de formulation.
- Le choix du type de conservateur et de sa concentration efficace, est indispensable pour assurer une protection satisfaisante du produit depuis la fabrication jusqu'à son utilisation. Il est également indispensable de le rajouter au cours de la préparation du gel afin d'éviter le développement de contaminants.
- L'étude rhéologique a permis d'affirmer que le procédé de la formulation de gel à base de spiruline que nous avons adopté est reproductible.
- Le test de capacité anti-oxydante a démontré que la poudre de spiruline présente un potentiel réducteur susceptible d'avoir des applications dans la formulation de produits dermo-cosmétiques offrant ainsi la possibilité de substituer ou de diminuer l'utilisation de substances anti-oxydantes synthétiques.
- La phycocyanine est une molécule très délicate à extraire en raison de sa grande instabilité en phase aqueuse, en cas de contamination bactérienne, cette molécule se dégrade très rapidement et perd ses propriétés anti-oxydantes.
- L'incorporation de la spiruline dans un gel à utilisation dermique est possible car la troisième formulation du gel conçu s'est avérée stable.

Aussi et malgré les résultats encourageants obtenus, notre travail reste préliminaire, dans la mesure où d'autres essais doivent être effectués pour éviter tout risque sur la santé humaine (toxicité cutanée, allergies...), pour affiner à long terme la conception d'un gel à base de spiruline, premier du genre, et pour affirmer que l'utilisation de celle-ci comme ingrédient bioactif potentiel, pour le développement des produits de soin cosmétique, reste efficace et sûre, cependant, le temps qui nous était imparti, ne nous a pas permis d'effectuer ces contrôles.

Le sujet, sur l'utilisation de la spiruline comme produit dermo-cosmétique, devrait être approfondi car d'autres bienfaits, actions ou applications pour la peau pourraient survenir.

Par ailleurs, une étude sur le plan économique, permettra d'établir une comparaison en matière de rapport qualité / prix entre ce nouveau gel et les autres produits similaires et ainsi donner la possibilité aux industriels spécialisés d'opter éventuellement pour ce genre de produit.

Enfin, nous invitons premièrement les pouvoirs publics à sensibiliser et encourager les agriculteurs pour s'orienter vers ce type de culture (spiruline) à petite et à grande échelle, et deuxièmement la communauté scientifique de notre pays à lui accorder plus d'attention, en raison des possibilités de son utilisation dans de nombreux domaines.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

BIBLIOGRAPHIQUES

## Références bibliographiques

1. Ahounou, M. N. (2018). La spiruline : un complément alimentaire en conseil à l'officine. Enquête d'utilisation. Thèse de Doctorat en pharmacie. Université de Rouen. France.195p.
2. Alenta C., Auner B. A. (2004). The Use Of Polymers For Dermal And Transdermal Delivery. *European Journal Of Phannaceutics And Biopharmaceutics*, 58 (2): 279-289.
3. Aouir, A., Amiali, M., Bitam, A., Benchabane, A., Raghavan, V.G. (2016). Comparison of the biochemical composition of different *Arthrospira platensis* strains from Algeria, Chad and the USA. *J. Food Meas. Charact.*, 913-923.
4. Aouir, A. (2017). Extraction des composés bioactifs de la spiruline par le champ électrique pulsé. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. Algérie, 184p.
5. Asghari, A., Fazilati, M., Latifi, A. M., Salavati., H., Choopani, A. (2016). A Review on Antioxidant Properties of Spirulina. *Journal of Applied Biotechnology Reports*.3, 345-351.
6. Ben Azouz, K. (2010). Relations entre propriétés rhéologiques et structure microscopique de dispersions de particules d'argile dans des solutions de polymères ,thèse de doctorat, Institut de Mécanique des Fluides et des Solides, Université de Strasbourg, France.194p.
7. Bolzinger, M.A. Briançon,S. Chevalier,Y. Puel, F.(2015). Formulation des systèmes pâteux ou préparations semi-solides. *Techniques de l'Ingenieur*, hal-01273308.
8. Bourdais, J. (2009). Les Cosmétiques Écologiques Et Biologiques. Thèse de doctorat en pharmacie. Université De Nantes. France.82p.
9. Bronaugh R.L., Maibach H.I. (2002). Topical absorption of Dermatological Products. Marcel Dekker. U.S. Food and Drug Administration. New York, USA.539.
10. Bumrela S., Naik S., (2011). Identification of  $\beta$ -carotene and  $\beta$ -sitosterol in methanolic extract of *Dipteracanthus patulus* (Jacq) nees and their role in antimicrobial and antioxidant activity. *International journal of phytomedicine*. (3): 204-215
11. Caussanel, P. (2018). La personnalisation dans le domaine de la beauté, vers des cosmétiques adaptés aux besoins de chacun. Thèse de doctorat. Faculté Des Sciences Pharmaceutiques, Université Toulouse III Paul Sabatier, France.192p.
12. Charpy, L., Langlade, M. J., Alliod, R. (2008). La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique. Rapport d'expertise pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. France.67p.

13. Costa, O. A. V., Moro, G. M. B., Filgueira, D. M. V. B., Corsini, E., Bertolin, T. E. (2017). The Potential of Spirulina and Its Bioactive Metabolites as Ingested Agents for Skin Care. *Ind. Biotechnol.* 13, 244–252.
14. Coulibaly, S.A. (2018). Etude De Quelques Proprietes Rheologiques D'un Gel Mixte Thermogelifiant Poloxamer 407/Amidon De Patate Douce (*Ipomoea Batatas*) (*Convolvulaceae*) . Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université francophone des sciences pharmaceutiques et biologiques. République de Côte d'ivoire, 112p.
15. Cruchot, H. (2008). La spiruline, bilan et perspectives. Thèse de doctorat. faculté de médecine et de pharmacie de Besancon. Université de Franche-Comte. France.353.
16. Cuellar-Bermudez S.P., Aguilar-Hernandez I., Cardenas-Chavez D.L., Nancy Ornelas Soto, Miguel, A., Romero-Ogawa, M.A., Parra-Saldivar, R. (2015). Extraction and purification of high-value metabolites from microalgae: essential lipids, astaxanthin and phycobiliproteins. *Microbial Biotechnology*, vol. 8, n° 2, p. 190-209.
17. Delsin, S., Mercurio, D., Fossa, M., Maia Campos, P. (2015). Clinical Efficacy of Dermocosmetic Formulations Containing Spirulina Extract on Young and Mature Skin: Effects on the Skin Hydrolipidic Barrier and Structural Properties. *Clin. Pharmacol. Biopharm.*, 4, 1000144–1000149.
18. Elaya Perumal, U., & Sundararaj, R. (2020). Algae: A Potential Source to Prevent and Cure the Novel Coronavirus. *International Journal on Emerging Technologies* 11(2): 479-483.
19. Elkassouani, N. (2013). Les produits cosmetiques pour les soins du visage. Thèse de doctorat, Faculté De Médecine Et De Pharmacie, Université Mohammed V – Souissi, Maroc. 340p.
20. Falquet, J., Hurni, J.P. (2006). Spiruline: aspects nutritionnels. 42p. Disponible sur : <http://www.paysdecernes.org/2015/Marmande/spiruline-aspects-nutritionnels.pdf> (dernière consultation 30 juin 2021 /17 :20)
21. Feurtet, A. (2006). Des Formes Topiques Classiques Aux Formes Transdermiques : Formulation Et Procédés. Thèse de doctorat. Faculté De Pharmacie De Grenoble. Université Joseph Fourier. France.123p.
22. Finamore, A., Palmery, M., Bensehaila, S., Peluso, I. (2017). Antioxidant, Immunomodulating, and Microbial-Modulating Activities of the Sustainable and Ecofriendly Spirulina. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 1-14p.
23. Fox R.D.(1999) Spiruline, Technique pratique et promesse. Aix en provence: Edisud; 246p.
24. Furmaniak, M. A., Misztak, A. E., Franczuk, M. D., Wilmotte, A., Waleron, M., Waleron, K. F. (2017). Edible Cyanobacterial Genus *Arthrospira* : Actual State of the Art in Cultivation Methods. Genetics and Application in Medicine. *Frontiers in Microbiology*, 8. 1-21p.

25. Gabr, G. A., El-Sayed, S. M., & Hikal, M. S. (2020). Antioxidant Activities of Phycocyanin: A Bioactive Compound from *Spirulina platensis*. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 32(2):73-85.
26. Garreau, H. (2016). La validation des procédés de nettoyage : Du contrôle à la maîtrise. Master Qualité et Performance dans les Organisations. Université de Technologie de Compiègne. France. 46p.
27. Gershwin, M.E., Belay, A. (2007). *Spirulina in Human Nutrition and Health*. CRC Press. 312 p.
28. Goulamabasse, T. R. (2018). Spiruline : Effets thérapeutiques et lutte contre la malnutrition à Madagascar Thèse de doctorat. Faculté de Pharmacie de Lille.France. 135p.
29. Grosshagauer, S., Kraemer, K., & Somoza, V. (2020). The True Value of Spirulina. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(14), 4109-4115.
30. Gunes, S., Tamburaci, S., Dalay, M. C., & Deliloglu Gurhan, I. (2017). In vitro evaluation of *Spirulina platensis* extract incorporated skin cream with its wound healing and antioxidant activities. *Pharmaceutical Biology*, 55(1), 1824-1832.
31. Gutiérrez-Salmeán, G., Fabila-Castillo, L., & Chamorro-Cevallos, G. (2015). Nutritional and toxicological aspects of spirulina (*arthrospira*). *Nutricion hospitalaria*, 32(1), 34-40.
32. Habib, M.A.B., Parvin, M., Huntington, T.C., Hasan, M.R. (2008). A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*. No. 1034. Rome, FAO. 33p.
33. Hoseini, S., Khosravi-Darani, K., & Mozafari, M. (2013). Nutritional and Medical Applications of Spirulina Microalgae. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 13(8), 1231-1237.
34. Hugues F.C., Le Jeune Ci., La Batide Alanore S. (1993)Thérapeutique Générale - Du développement à la prescription des médicaments. Edition Frison-Roche. Paris, 59-64, 79-80.
35. Joshi, S., Kumari, R., Upasani, V.N. (2018). Applications of algae in cosmetics: An overview, 7: 1269-1278.
36. Jourdan, J. P. (2018). Manuel de culture artisanale pour la production de la spiruline. disponible sur : <http://spirulinefrance.free.fr> (dernière consultation 17 juin 2021/14 :36)
37. Józsa, L., Ujhelyi, Z., Vasvári, G., Sinka, D., Nemes, D., Fenyvesi, F., Váradi, J., Vecsernyés, M., Szabó, J., Kalló, G., Vasas, G., Bácskay, I., & Fehér, P. (2020). Formulation of Creams Containing *Spirulina Platensis* Powder with Different Nonionic Surfactants for the Treatment of *Acne Vulgaris*. *Molecules*, 25(20), 4856.

38. Karkos, P., Leong, S., Karkos, C., Sivaji, N., & Assimakopoulos, D. (2011). Spirulina in Clinical Practice: Evidence-Based Human Applications. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*.4. 1-5p.
39. Kasum, A. (2016). Environnement Reglementaire Et Qualite Des Essais Cliniques Cosmetiques En France.Thèse De Doctorat. Université De Bordeaux U.F.R. Des Sciences Pharmaceutiques. France. 170p.
40. Kulshreshtha, A., J., A., Jarouliya, U., Bhadauriya, P., Prasad, G., & Bisen, P. (2008). Spirulina in Health Care Management. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 9(5), 400-405.
41. Lafri, I., Jemni, M., Bensehaila, S., & Boutekrabt, L. (2017). Evaluation of methods of extracting phycocyanine and yield from Spirulina platensis. *AgroBiologia*, 7(2), 623-632
42. Lafri, I. (2018). Optimisation des méthodes d'extraction de la phycocyanine à partir de la spiruline HTAM. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département de Biotechnologie. Université de Blida I, Algérie. 193p.
43. M'hamed H. El Watan ; Algérie : La spiruline, une algue en quête d'une mise en valeur El Watan 03-04-10 (consulté le : 16/05/2021 sur [https://cours-examens.org/images/Veille\\_technologique/Agriculture/Spiruline/Article.pdf](https://cours-examens.org/images/Veille_technologique/Agriculture/Spiruline/Article.pdf) )
44. Manet, A. (2016). La spiruline : Indications Thérapeutiques, Risques Sanitaires et Conseils à l'Officine, Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en pharmacie.Diplôme d'état.Université Grenoble Alpes.Faculté de Pharmacie de Grenoble.116p.
45. Martínez-Galero, E., Pérez-Pastén, R., Perez-Juarez, A., Fabila-Castillo, L., GutiérrezSalmeán G.,( 2016). Chamorro G. Preclinical antitoxic properties of Spirulina (Arthrospira). *Pharm Biol*; 54:1345-53.
46. McCarty, M. F., & Dinicolantonio, J. J. (2020). Nutraceuticals have potential for boosting the type 1 interferon response to RNA viruses including influenza and coronavirus. *Progress in Cardiovascular Diseases*. 63(3), 383-385.
47. Moulay Lakhdar, I. (2011). Culture de la Spiruline en Algérie. Thèse de Licence en Biologie, physiologie et génétique végétales. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Algérie. 20p.
48. Muhling, M., Harris, N., Belay, A., Whitton B.A. (2003). Reversal of helix orientation in the cyanobacterium Arthrospira. *Journal of Phycology* 39: 360-367
49. Nege, A. S., Dewi Masithah, E., & Khotib, J. (2020). Trends in the Uses of Spirulina Microalga: A mini-review. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 12(1), 149.
50. Novak, A. C. (2010). Evaluation of the cosmetic of the Cyanobacterium Spirulina platensis. Foxit Corporation. Brazil. 87p

51. Oran : Une ferme pilote pour l'élevage d'algues ; tribunal des lecteurs écrit le 23/10/2017 consulté le : 31/05/2021 sur <https://www.tribunelecteurs.com/oran-une-ferme-pilote-pour-lelevage-dalgues/> .
52. Park, W., Kim, H. J., Li, M., Lim, D., Kim, J., Kwak, S. S., Kang, C. M., Ferruzzi, M., & Ahn, M. J. (2018). Two Classes of Pigments, Carotenoids and C-Phycocyanin, in Spirulina Powder and Their Antioxidant Activities. *Molecules*, 23(8), 2065.
53. Patel, S., Goyal, A. (2013). Current and prospective insights on food and pharmaceutical applications of spirulina. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 7, 681–695.
54. Pimple, B. P. ; [PAS Modern Talking College of Pharmacy]. (2020, 17 juillet). *DPPH & H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Antioxidant Assays : Dr B P Pimple* [Vidéo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=P3VN-O-Jkzo>.
55. Pottecher, F. (2014). Procédé d'extraction et de stabilisation de phycocyanine et ses applications. Brevets WO 2014045177.
56. Racz, A. (2018). Comment favoriser la pénétration des actifs cosmétiques : de la formulation galénique à la cosmétique instrumentale. Thèse de doctorat, Faculté Des Sciences Pharmaceutiques. Université Toulouse III Paul Sabatier. France.155p.
57. Ragusa, I., Nardone, G. N., Zanatta, S., Bertin, W., Amadio, E. (2021). Spirulina for Skin Care: A Bright Blue Future. *Cosmetics*, 8(1), 7.
58. Raj T. K., Ranjithkumar, R., Kanthesh, B. M., Gopenath, T. S. (2020). C Phycocyanin Of Spirulina Plantesis Inhibits Nsp12 Required For Replication Of Sars-Cov-2: A Novel Finding In-Silico. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 11, 4271-4278.
59. Ramírez-Rodriguez, M. M., Estrada-Beristain, C., Metri-Ojeda, J., Pérez-Alva, A., Baigts-Allende, D. K. (2021). Spirulina platensis Protein as Sustainable Ingredient for Nutritional Food Products Development. *Sustainability*, 13(12), 6849.
60. Rancurel, A. (2004). Huiles, corps gras et produits cosmétiques. Oléagineux, Corps gras, Lipides, 11(6), 398-400.
61. Ratha, S. K., Renuka, N., Rawat, I., & Bux, F. (2021). Prospective options of algae-derived nutraceuticals as supplements to combat COVID-19 and human coronavirus diseases. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 83, 111089.
62. Ravindran, B., Gupta, S., Cho, W. M., Kim, J., Lee, S., Jeong, K. H., Lee, D., & Choi, H. C. (2016). Microalgae Potential and Multiple Roles—Current Progress and Future Prospects—An Overview. *Sustainability*, 8(12), 1215.
63. Raymond, C. (2016). Les Dermo-Cosmetiques : Définition Et Cycle De Vie De Ces Produits Entre Santé Et Beauté. Thèse de doctorat. Faculté Des Sciences Pharmaceutiques. Université de Bordeaux. France. 104p



64. Rosso, L., Lobry, J.R., Bajard, S., Flandrois, J.P. (1995). Convenient Model To Describe the Combined Effects of Temperature and pH on Microbial Growth. *Applied and environmental microbiology*. 61(2), 610–616.
65. Sahin, S. C. (2018). The potential of *Arthrospira platensis* extract as a tyrosinase inhibitor for pharmaceutical or cosmetic applications. *South African Journal of Botany*, 119, 236-243.
66. Sguera, S. (2008). *Spirulina platensis* et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques (Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré). 175p.
67. Soizic, L. (2019). La spiruline : Intérêts humanitaires et thérapeutiques. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université d'Aix-Marseille. France. 95p.
68. Soni, R. A., Sudhakar, K., & Rana, R. (2017). Spirulina – From growth to nutritional product: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 157-171.
69. Vonshak, A. (1997) *Spirulina Platensis Arthrospira: Physiology, Cell-Biology And Biotechnology*. CRC Press. 264 p.
70. Wehler, P. 2007. *Formulation et technologie pharmaceutique* Ed Maloine. 207p.
71. William, B., Hauserman, P. E. (2020). *All About Viscosity*. Disponible sur : <https://www.cedengineering.com/> consulté le: 17/06/2021/20 :15)
72. Williams, A. C. (2003). *Transdennal and topical drug delivery: From theory to clinical practice*. Pharmaceutical Press. Marcel Dekker. 242 p.
73. Wu, Q., Liu, L., Miron, A., Klímová, B., Wan, D., Kuča, K. (2016). The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of *Spirulina* : an overview. *Archives of Toxicology*, 90(8), 1817-1840.

### References du glossaire

- (Larousse en ligne, s. d.) Larousse. ( s. d.). Ubiquiste. Dans *Dictionnaire en ligne*. Consulté le 9 juin 2021 sur <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/ubiquiste/80419>.
- Linternaute.(s.d).Natron. Dans dictionnaire en ligne. Consulté le 9 juin 2021 sur <https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/natron/>.
- Linternaute.(s.d).occlusif. Dans dictionnaire en ligne. Consulté le 9 juin 2021 sur <https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/occlusif/>.
- Stratum corneum. (n.d.). Futura santé. Consulté le 10/6/ 2021 sur <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-stratum-corneum-12696/>.

# **ANNEXES**

## Annexe A

### Répartition géographique de la spiruline.

Tableau IX : la distribution géographique naturelle de la spiruline (Sguera, 2008).

<b>Distribution géographique naturelle de la spiruline.</b>	
<b>AFRIQUE</b>	
Algérie Tchad	Tamanrasset Région du Kanem : lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseirom, Ounianga kebir
Soudan Djibouti Ethiopie	Cratère de Djebel Marra Lac Abber Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe
Congo Kenya Tanzanie Tunisie Zambie Madagascar	Mougounga Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron Lac Natron Lac Tunis ; Chott el Jerid Lac Bangweoulou Beaucoup de petits lacs près de Toliara
<b>ASIE</b>	
Inde Myanmar Sri Lanka Pakistan Thaïlande  Azerbaïdjan	Lacs Lonar et Nagpur Lacs Twyn Taung, Twyn Ma et Taung Pyank Lac Beira Mares près de Lahore Lacs d'effluents d'une usine de tapioca, province de Radburi, 80 km au S.O. de Bangkok Non précisé
<b>AMERIQUE DU SUD</b>	
Pérou  Mexique Uruguay Equateur	Réservoir d'eau près de Paracas Près de l'île d'Amantani dans le lac Titicaca Lac Texcoco ; lac Cratère Montevideo Lac Quiliotoa : cratère de 1km de diamètre
<b>AMERIQUE DU NORD</b>	
Californie Haïti République Dominicaine	Oakland ; Del Mar Beach Lac Gonâve Lac Enriquillo
<b>EUROPE</b>	
Hongrie France	Non précisé Camargue
<b>AUTRES SITES POSSIBLES</b>	
Ethiopie Kenya Tanzanie Zambie Botswana Namibie Afrique du Sud Bolivie Chili  Mauritanie Inde	Lac Abiata Lac Rodolphe ; lac Hannington Lac Manyara ; lac Rukua Lac Mweru Makgadigka Salt Pans Etosha Salt Pan Etat libre d'Orange, près de Vaaldam Lacs Colorado, Poopo, Chalviri, Salar de Uyuni Aguas Calientes, Lagunas Brava, lac Vilama, Salar De Surire Côte sud Rann of Kutch ; Gujarat Côte Ouest

## Annexe B

### La culture de la spiruline

- 1- Les différentes étapes de la production de la spiruline : de la culture au conditionnement (Soizic, 2019).

1-préparation de milieu de culture : Le bassin (ou autres récipients) recevant un nouveau milieu de culture doit être propre et désinfecté pour éviter la contamination du milieu par des organismes étrangers pouvant entraîner la détérioration de la culture.



2- Après quelques semaines, la récolte commence. Un bassin peut être récolté tous les 2 ou 3 jours, pendant toute l'année.



3- La spiruline récoltée par filtration est pressée (l'essorage), extrudée (sous forme de filaments) puis séchée au soleil.



4- le broyage et mise en conditionnement : La spiruline est conditionnée en sachet, flacon ou gélules.



- 2- **Tableau X** : Analyse d'un milieu de culture typique (Fox, 1999)

Eléments	Concentration en mg/l
Bicarbonate	2800
Phosphate	614
Sulfate	25
Chlore	350
Sodium	3030
Potassium	4380
Magnésium	642
Calcium	10
Ammonium	5
Ammoniac	5
Fer	1

## Annexe C

### Les pigments de la spiruline.

**Tableau XI** : Teneurs moyennes et principales fonctions des pigments de la spiruline (Ahounou, 2018 ; Manet, 2016 ; Furmaniak et *al.*, 2017).

Pigments	Teneur moyenne dans 10g de la spiruline	Principales fonctions
<b>Caroténoïdes :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Lutéine</b></li><li>• <b>Zéaxanthine</b></li><li>• <b>B-carotène</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>0.2 mg</li><li>11 mg</li><li>15à24 mg</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vision</li><li>• Vision</li><li>• Croissance, vision, antioxydant</li></ul>
<b>Chlorophylle</b>	60 mg	<ul style="list-style-type: none"><li>• Chélateur des métaux lourds</li><li>• Protecteur digestif</li></ul>
<b>Phycocyanine</b>	100-160 mg	<ul style="list-style-type: none"><li>• Antioxydant, anti-inflammatoire</li><li>• Immunostimulant, anti-tumoral</li></ul>

## Annexe D

### Généralités sur le gel

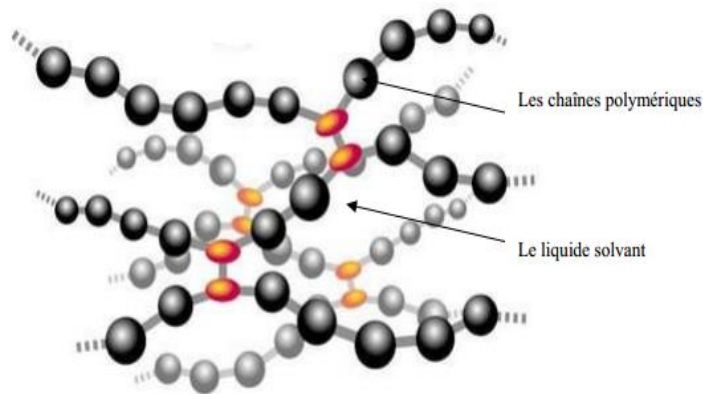


Figure 25 : Structure d'un gel (Ben Azouz, 2012)

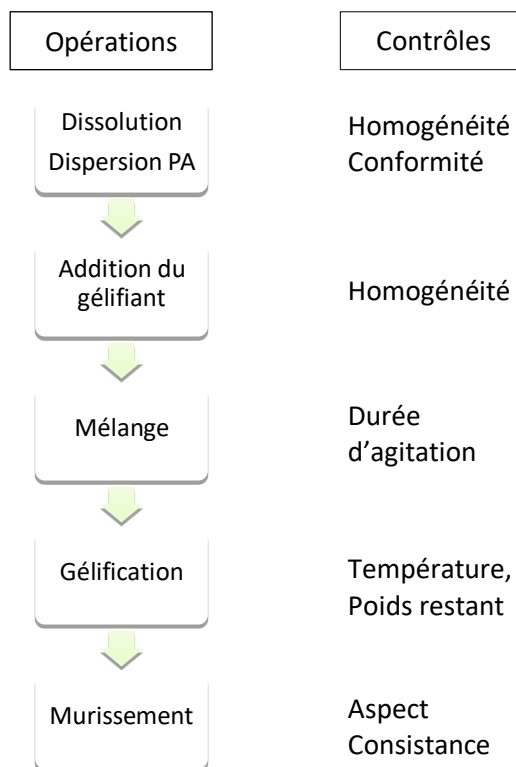


Figure 26 : Logigramme de fabrication d'un gel. (Feurtet et *al.*, 2006)

## Annexe E

### Réactifs et Appareillages utilisés

Réactifs/Milieus de culture	Appareillage	Verreries / Petit matériels
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eau distillée</li> <li>- Polymère A : Carbomères Rhéocare plus.</li> <li>- Polymère B : méthacrylate.</li> <li>- Glycérine.</li> <li>- Vitamine E.</li> <li>- Conservateur 1 : Unigard OA-94.</li> <li>- Conservateur 2 : kathon CG.</li> <li>- Parfum.</li> <li>- TEA : Triéthanolamine.</li> <li>- Tensioactif : Plantapon PSC Benz.</li> <li>- Gélose PCA (Plate Count Agar).</li> <li>- Gélose SABOURAUD.</li> <li>- Diluant : Nourishing brouth D/E.</li> <li>- Peroxyde d'hydrogène h<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</li> <li>- Acide ascorbique.</li> <li>- Tampon pH=7.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agitateur Electrique (VELP SCIENTIFICA).</li> <li>- Balance De Précision. (Gibertini, ETERNITY).</li> <li>- pH Mètre (OHAUS).</li> <li>- Viscosimètre (BROOKFIELD DV2T Extra).</li> <li>- Pycnomètre.</li> <li>- Etuves bactériologiques (31°C ,25°C).</li> <li>- Poste de sécurité Microbiologique De Type 2.</li> <li>- Centrifugeuse (SIGMA 9400 Tour /Min).</li> <li>- Réfrigérateur (4°C).</li> <li>- Rhéomètre (Anton Paar).</li> <li>- Microscope Optique.</li> </ul>	<p><b>Verreries :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entonnoirs.</li> <li>- Bêchers.</li> <li>- Flacons à bouchons stériles.</li> <li>- Eprouvette graduée.</li> <li>- Boites de pétri.</li> <li>- Ballon à fond plat.</li> <li>- Tubes à essai.</li> <li>- Tubes de la centrifugeuse.</li> </ul> <p><b>Petit matériels :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spatules, étiquettes.</li> <li>- Seringues stériles de 5ml.</li> <li>- Lames et lamelles.</li> <li>- Micropipettes.</li> </ul>

Caractéristiques des réactifs utilisés :

Les réactifs	Caractéristiques
<b>Polymère A : Carbomère : Rhéocare c plus</b>	<p>-Gélifiant : Donne la consistance d'un gel à une préparation liquide.</p> <p>-Agent de contrôle de la viscosité : Augmente ou diminue la viscosité des cosmétiques.</p>
<b>Polymère B : Méthacrylate</b>	<p>Il est généralement utilisé comme agent filmogène résistant à l'eau dans les produits cosmétiques. En créant un film mince et flexible, il empêche l'eau de laver le produit.</p>
<b>Conservateur 1 : UNIGARD OA-94</b>	<p>C'est un liquide légèrement visqueux à base de substances organiques identiques à la nature. Il ne contient ni parabènes, ni substances contenant des halogènes.</p>
<b>Conservateur 2 : Kathon CG</b>	<p>Le Methylisothiazolinone (ou MIT) est un biocide puissant et un conservateur du groupe des isothiazolinones, utilisé comme conservateur dans les cosmétiques en remplacement des parabens .Il est souvent utilisé dans les shampoings et produits de soin.</p>
<b>Plantapon PSC Benz</b>	<p>C'est une composition Liquide nettoyante d'un aspect clair, légèrement jaunâtre avec une odeur caractéristique, utilisée comme tensioactif, douce avec de très bonnes propriétés moussantes.</p>
<b>TEA : Triéthanolamine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Régulateur de pH : Stabilise le pH des cosmétiques.</li> <li>- Agent émulsifiant : Favorise la formation de mélanges intimes entre des liquides non miscibles en modifiant la tension interfaciale (eau et huile).</li> <li>- Agent masquant : Réduit ou inhibe l'odeur ou le goût de base du produit.</li> </ul>



## Annexe F

Les données des résultats de contrôle de qualité du produit

1- **Tableau XII** : les résultats de la mesure de pH pour les 3 formulations du gel.

Les paramètres	pH 1 (J <sub>1</sub> )	pH 2 (J <sub>30</sub> )
La 1 <sup>ère</sup> formulation	6.67	6.56
La 2 <sup>ème</sup> formulation	6.77	6.69
La 3 <sup>ème</sup> formulation	6.37	6.35
Intervalle des valeurs normales (Novak, 2010; Coulibaly, 2018)	5-7	

2- **Tableau XIII** : les résultats de la mesure de densité pour les 3 formulations du gel.

Paramètres Formulations	Densité
La 1 <sup>ère</sup> formulation (gel 1)	1.029
La 2 <sup>ème</sup> formulation (gel 2)	1.027
La 3 <sup>ème</sup> formulation (gel 3)	1.023
Intervalle des valeurs normales selon Venus	0,010 - 0,030

3- **Tableau XIV** : Les données de la courbe d'écoulement du 1er gel

Meas. Pts.	Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Viscosity [Pa·s]
*** 1 ***	0,0000365	-0,00483	-132
*** 2 ***	0,000179	0,221	1 230
3	0,000378	0,813	2 150
4	0,000724	1,86	2 570
5	0,00142	3,43	2 420
6	0,00276	5,33	1 930
7	0,00535	7,16	1 340
8	0,0104	8,58	827
9	0,0202	9,64	478
10	0,0392	10,6	270
11	0,076	11,7	154
12	0,148	13,3	90,5
13	0,286	15,6	54,3
14	0,556	18,3	33
15	1,08	21,7	20,1
16	2,09	25,3	12,1
17	4,07	29,8	7,33
18	7,89	35,4	4,48
19	15,3	42,2	2,76
20	29,7	50,7	1,7
21	57,8	61,1	1,06
22	112	74,2	0,662
23	218	91,5	0,42
24	422	115	0,273
25	820	149	0,182
26	1 590	201	0,126
27	3 090	292	0,0945
28	6 000	419	0,0699

4- **Tableau XV** : Les données de la courbe d'écoulement du 2ème gel.

Meas. Pts.	Shear Rate	Shear Stress	Viscosity
	[1/s]	[Pa]	[Pa·s]
*** 1 ***	0,0000981	0,301	3 060
*** 2 ***	0,000199	0,745	3 740
3	0,00037	1,48	3 980
4	0,000737	2,66	3 610
5	0,00143	4,32	3 030
6	0,00276	6,42	2 320
7	0,00535	8,65	1 620
8	0,0104	10,7	1 030
9	0,0202	12,3	609
10	0,0391	13,5	345
11	0,076	14,6	192
12	0,148	15,7	107
13	0,286	17,1	59,8
14	0,556	18,8	33,8
15	1,08	20,8	19,3
16	2,09	23,5	11,2
17	4,07	26,9	6,61
18	7,89	31,2	3,95
19	15,3	36,5	2,38
20	29,7	43,2	1,45
21	57,7	51,8	0,898
22	112	63,6	0,567
23	218	79,8	0,367
24	422	103	0,244
25	820	137	0,167
26	1 590	190	0,119
27	3 090	275	0,0891
28	6 000	396	0,066

5- **Tableau XVI** : Les données de la courbe d'écoulement du 3<sup>ème</sup> gel.

Meas. Pts.	Shear Rate [1/s]	Viscosity [Pa·s]
*** 1 ***	3,18E-05	1,65E+03
2	1,77E-04	4,47E+03
3	3,48E-04	6,00E+03
4	6,32E-04	6,48E+03
5	1,19E-03	5,94E+03
6	2,18E-03	5,11E+03
7	4,07E-03	3,98E+03
8	7,54E-03	2,88E+03
9	1,40E-02	1,88E+03
10	2,59E-02	1,12E+03
11	4,81E-02	6,47E+02
12	8,92E-02	3,70E+02
13	1,65E-01	2,10E+02
14	3,07E-01	1,20E+02
15	5,69E-01	6,88E+01
16	1,05E+00	4,00E+01
17	1,96E+00	2,35E+01
18	3,63E+00	1,40E+01
19	6,73E+00	8,46E+00
20	1,25E+01	5,14E+00
21	2,31E+01	3,16E+00
22	4,29E+01	1,98E+00
23	7,95E+01	1,26E+00
24	1,48E+02	8,23E-01
25	2,74E+02	5,48E-01
26	5,07E+02	3,73E-01
27	9,41E+02	2,58E-01
28	1,74E+03	1,82E-01