

DEPARTEMENT DE SCIENCES ALIMENTAIRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Mlle. BOUGUELMOUNA Soulef

Mlle. LAKRID Hafsa

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES

Spécialité : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

**Exploration de la visibilité des microalgues dans la
production de la charcuterie « vegan » une
alternative durable à la viande**

Soutenue publiquement le 06/10/2024

DEVANT LE JURY

Président	Mr. Chadli Rabah	Professeur	U. Mostaganem
Encadrant	Mr. BENABDELMOUMEN Djilali	MCA	U. Mostaganem
Examinatrice	Mme. AIT CHABANE Ouiza	MCA	U. Mostaganem

Année universitaire : 2023/2024

Thème réalisé au laboratoire de Physiologie Animale Appliquée (LPAA-Mostaganem)

Remerciements

Pour commencer ces remerciements, nous souhaitons exprimer notre gratitude au Seigneur des cieux, le miséricordieux : DIEU. Qui a été d'une grande miséricorde et nous a permis, par Sa grâce, d'être là où nous sommes aujourd'hui.

Nous tenons à remercier notre encadrant, M. BENABDELMOUMENE Djilali, qui nous a été d'une grande aide et porteur de bons conseils. Il a été constamment présent pour nous. Merci de nous avoir assistés tout au long de la réalisation de notre travail. Nous souhaitons souligner une fois de plus notre gratitude la plus sincère et la plus profonde pour ses efforts.

Nous remercions les membres du jury professeur CHADLI Rabah et Docteur AIT CHABANE de prendre de leur temps pour évaluer notre travail et d'avoir accepté d'être présents.

Nous souhaitons également remercier les professeurs : M. AIT SAADA Djamel, Madame AIT CHABANE Ouiza, M. BENGUENOUNA Noureddine, M. MEDJAHED, et M. FODIL Kamel, BERRAHEL Nabil, ainsi que l'ensemble des enseignants de l'Université Abdelhamid Ben Badis de Mostaganem, qui ont contribué à notre formation durant ces cinq années. Nous tenons particulièrement à remercier ceux de l'option Science Alimentaire, sans oublier le personnel du laboratoire : Amina, Fatima, et Nassima.

Nous adressons nos sincères remerciements à toutes les personnes qui, par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques, ont guidé nos réflexions et répondu à nos questions durant nos recherches, spécialement Nesrine DEBABÈCHE et Djihen CHABANE, Cherine BELGHAZI.

Enfin, nous remercions nos amis, qui ont toujours été là, apportant leur soutien inconditionnel et leurs encouragements, qui nous ont été d'une grande aide.

Dédicaces

Tout au long de la réalisation de ce mémoire, j'ai reçu un soutien inconditionnel de mes proches. Leur soutien inébranlable et inconditionnel a été essentiel pour concrétiser ce mémoire, qui résume ces cinq dernières années d'études rythmées par le travail et la discipline.

Tout d'abord, nous souhaitons commencer ces dédicaces en félicitant notre binôme : Hafsa et Soulef. Ensemble, main dans la main, nous avons réussi à faire preuve de solidarité, d'efficacité et de coopération. Nous avons su mener à bien ce projet en faisant preuve de patience et de résilience. Nous n'oublierons jamais cette expérience de travail.

Une mention particulière pour la prunelle de mes yeux, mes parents :

Ma mère Aicha : Dans le Coran, il est mentionné l'importance de la mère. Pour cela, ma mère mérite une mention particulière. Je souhaite te remercier pour ta patience, ton amour inconditionnel, tes encouragements constants, qui ont été une source de motivation essentielle tout au long de la réalisation de mon mémoire. Elle a su m'apporter l'amour et la tendresse d'une mère dans les moments difficiles et de doute.

Mon père Mohammed : Mon père, mon héros, mon modèle, mon exemple. Je ne le remercierai jamais assez de m'avoir inculqué une bonne éducation et surtout transmis son savoir. Il m'a toujours poussé et motivé à aller le plus loin possible dans mes études. Il m'a appris à être assidue et disciplinée dans mon travail. Ses précieux conseils m'ont permis de toujours être persévérante et résiliente, comme lui.

Ce projet n'aurait jamais été possible sans mon exemple, ma grande sœur Sabrina, qui est pour moi une muse ainsi qu'un modèle d'inspiration. Elle a su me canaliser et m'apaiser durant les moments de doute et d'incertitude.

Mon cher frère Abdelwahab, mon meilleur ami et confident. Tu as toujours été là pour me soutenir et me conseiller. Merci de m'avoir épaulée pour la réalisation de ce projet. Malgré la distance et les frontières qui nous séparent, notre lien reste soudé.

Je dédie ce paragraphe à mon partenaire de vie Ilyes, je suis reconnaissante pour ta bienveillance et ta tendresse. Tu es un pilier essentiel à ma vie. Ta patience et ta confiance en moi ont été essentielles tout au long de ce parcours. Merci d'avoir cru en moi, même dans les moments les plus difficiles. Je suis impatiente de partager avec toi tous les succès à venir.

Ma belle-sœur Badra, que je considère comme ma sœur. Bien que nous n'ayons pas de lien de sang, tu joues un rôle de grande sœur important dans ma vie. Tu as toujours pris de mes nouvelles pour savoir comment je me sentais vis-à-vis de l'avancement de mon travail.

Ma nièce Syrine, qui est mon enfant d'une autre mère. Malgré son jeune âge et le fait qu'elle soit encore une enfant, l'amour, l'affection et la tendresse qu'elle m'a apportés ont été des moments de bonheur et d'échappatoire, nécessaires pour réaliser un projet d'une telle envergure.

Nour El Houda, mon alliée ainsi que ma source de motivation toi et moi nous avons ensemble gravi les échelons scolaires depuis le début de notre scolarité depuis notre plus jeune âge. Même si toi aussi tu étais en pleine préparation de ta soutenance, tu as quand même été présenté pour moi.

Safaa, ma sœur d'une autre mère, ma meilleure amie, ma confidente, mon journal intime. Merci pour ton soutien moral, de m'avoir aidée et accompagnée pour mener à bien mon projet.

Ma grand-mère Fatma, Allah yerhamha, ma seconde mère. Même si tu n'es plus de ce monde, je me devais d'écrire ces quelques mots en ton nom. Toi qui as joué un rôle immense dans mon éducation. J'aurais aimé que tu voies la jeune femme que je suis devenue et que tu sois présente ici même avec moi. Comme on dit, loin des yeux, près du cœur.

Hafsa

Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

À mon cher défunt papa Habib, que Dieu accorde le repos à son âme, que j'aime énormément. Dans ces mots dédiés spécialement à lui, je tiens à exprimer ma reconnaissance pour ses sacrifices, ses précieuses directives, sa patience, son amour ainsi que tout ce dont il m'a offert dans cette vie. Ces qualités en font sa grandeur et aussi en font de lui un père unique et très différent des autres. Que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

À ma chère maman Hania, qui a toujours été là pour me soutenir, m'encourager, prendre soin de moi, combler mes besoins et aussi à partager avec moi de la bonne humeur lors des moments difficiles. En ces mots, je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance et mon amour de fille envers elle. Merci d'avoir été toujours là pour moi.

À mes chers frères jumeaux, Houcine et Mohamed, je tiens à leur témoigner à travers ces mots, leur bon rôle de frère protecteur, mais aussi de père. Merci pour votre soutien inestimable qui embellit ma vie et la comble de joie.

À ma grand-mère Mani c'est la bonté elle-même, que dieu lui accorde la bonne santé et une longue vie. Merci pour toutes prières faites pour moi, merci pour cette affection douce qui me fait revivre tous les jours, c'est à mon tour cette fois-ci de prier dieu à ce que tu es la force de me combler de cet amour cordial pour toujours.

À mon aimable binôme et amie Hafsa, je tiens tout d'abord à la remercier pour sa loyauté ainsi que pour son sérieux, il se fut un grand plaisir de travailler avec elle et de partager ensemble des hauts et des bas durant tout ce parcours universitaire et spécialement durant ce travail de mémoire. Je lui souhaite plein d'autres succès dans sa vie.

À mes chères amies Djihen, Djaouida et Nesrine que j'aime de tout mon cœur, je leur suis reconnaissante du fait qu'elles aient toujours partagé avec moi des pires comme aussi de meilleurs moments, chaque moment vécu ensemble, chaque éclat de rire, chaque petite attention fait de vous des personnes uniques et exceptionnelles dans ma vie, il est difficile de chercher ainsi que de trouver les mots afin de décrire votre place précieuse dans mon cœur. Chaque hiver de ma vie, vous apportez le printemps avec votre présence lumineuse. Vous êtes ma famille de cœur je vous remercie pour cette amitié inconditionnelle que vous m'offrez chaque jour, merci pour votre bienveillance ainsi que votre soutien sans faille. Je vous aime du fond du cœur et à jamais.

À mes chères tantes Zoulikha et Fairouz. Votre place dans mon cœur a toujours été spéciale, votre amour maternel si sincère et chaleureux m'a toujours fait senti que j'étais réellement une partie de vous. Votre sagesse m'a toujours inspiré. À chaque étape de ma vie, vous avez su être là, présentés avec votre soutien, vos conseils profonds, votre sourire réconfortant, votre bienveillance inégalée et tout simplement votre être de mère.

Je suis très reconnaissante de votre présence constante et pour tout ce dont vous m'avez appris. Vous avez été, vous êtes et vous serez toujours pour moi des exemples de force, de sagesse, de gentillesse et de générosité. Merci d'être ces lumières qui m'accompagnent et guident mon chemin vers le bon.

Mon cher oncle Brahim, je t'apprécie à un point inimaginable et je te remercie du fond du cœur pour tous les efforts et tout ce que tu as fait pour nous. Ton rôle de vrai oncle, qui fait de toi une personne généreuse et formidable nous affecte beaucoup, mais bien sûr aussi ton soutien qui nous laisse toujours ce sentiment de sécurité. Moi ainsi que ma petite famille te sommes reconnaissant (es) pour tes bons actes et t'avoir à nos côtés est l'une des choses les plus rassurantes pour nous.

Résumé

Cette étude vise à concevoir un produit alimentaire analogue pour remplacer la viande, afin de réduire la consommation de celle-ci et diminuer son empreinte climatique. L'objectif secondaire est de créer un produit plus accessible, à un coût inférieur à celui de la viande. L'expérience a été menée au laboratoire de physiologie animale appliquée de l'Université Abdel Hamid Ibn Badis, à Mostaganem. Les matériaux végétaux utilisés dans cette étude incluent *Azolla microphylla* et la lentille d'eau (*Lemna*), provenant d'unités de production locales dans la wilaya de Mostaganem, et récoltés au printemps. La culture de l'*Azolla* s'est effectuée dans des aquariums de 100 litres et des bassins extérieurs. Les aquariums maintenaient une température de 25–30°C, avec un pH ajusté entre 6,5 et 7,5, tandis que des fertilisants à base d'azote, phosphore et potassium étaient ajoutés pour stimuler la croissance. L'éclairage était assuré par des lampes LED garantissant 12 heures de lumière par jour, tandis que les bassins bénéficiaient de la lumière naturelle. Des pompes à air étaient utilisées pour assurer une oxygénation optimale de l'eau. Après obtention de la biomasse, l'*Azolla* a été récoltée, rincée à l'eau salée, et séchée à 28°C pendant 72 heures. Des analyses physicochimiques ont ensuite été réalisées. La teneur en matière sèche a été mesurée en pesant les échantillons avant et après une déshydratation à 105°C pendant 24 heures. Le taux de matière sèche obtenu pour l'*Azolla* et la lentille d'eau était en moyenne de $92,5 \pm 1,2$ % et $89,3 \pm 1,8$ % respectivement. La teneur en matière minérale a été déterminée après incinération des échantillons à 550°C, avec un taux de cendres de 14,6 % pour l'*Azolla* et de 12,8 % pour la lentille d'eau. La matière organique a été obtenue en soustrayant le taux de matière minérale de la matière sèche, donnant ainsi 77,9 % et 76,5 % respectivement pour les deux plantes. Le taux de matière grasse est de $4,5 \pm 0,5$ % pour l'*Azolla* et de $3,2 \pm 0,4$ % pour la lentille d'eau. La teneur en chlorophylle a été mesurée par spectrophotométrie. L'absorbance a été enregistrée à 663 nm et 750 nm pour déterminer les chlorophylles A et B. La teneur en chlorophylle A pour l'*Azolla* était de 7,8 mg/g, tandis que celle de la lentille d'eau était de 6,5 mg/g.

Mots clés : *Azolla*, Lentille d'eau, Vegan, viande, protéines

Summary

This study aims to design a plant-based food product to replace meat, in order to reduce meat consumption and decrease its environmental footprint. The secondary objective is to create a more affordable product at a lower cost than meat. The experiment was conducted at the Applied Animal Physiology Laboratory of AbdelHamid IbnBadis University, in Mostaganem. The plant materials used in this study include *Azolla microphylla* and duckweed (*Lemna*), sourced from local production units in the Mostaganem region and harvested in spring. The *Azolla* was cultivated in 100-liter aquariums and outdoor ponds. The aquariums maintained a temperature of 25–30°C, with a pH adjusted between 6.5 and 7.5, while nitrogen, phosphorus, and potassium-based fertilizers were added to promote growth. Lighting was provided by LED lamps ensuring 12 hours of light per day, while the ponds benefited from natural light. Air pumps were used to ensure optimal oxygenation of the water. After obtaining the biomass, the *Azolla* was harvested, rinsed with salt water, and dried at 28°C for 72 hours. Physicochemical analyses were then carried out. The dry matter content was measured by weighing the samples before and after dehydration at 105°C for 24 hours. The dry matter content for *Azolla* and duckweed averaged $92.5 \pm 1.2\%$ and $89.3 \pm 1.8\%$, respectively. The mineral content was determined after incinerating the samples at 550°C, yielding ash content of 14.6% for *Azolla* and 12.8% for duckweed. The organic matter was obtained by subtracting the mineral content from the dry matter, resulting in 77.9% and 76.5%, respectively, for the two plants. The fat content was $4.5\% \pm 0.5$ for *Azolla* and $3.2\% \pm 0.4$ for duckweed. Chlorophyll content was measured by spectrophotometry. Absorbance was recorded at 663 nm and 750 nm to determine chlorophyll A and B. The chlorophyll A content for *Azolla* was 7.8 mg/g, while that of duckweed was 6.5 mg/g.

Keywords: *Azolla*, Duckweed, Vegan, Meat, Proteins

ملخص

تهدف هذه الدراسة تصميم دنج غذائي يتبل لوجل محل اللحم، بهدف تقليل استهلاكه وإح من بصمته البيئية. لف هذا هو إنشاء دنج الفطر الفلانية للوصول، بتكلفة أقل من تكلفة اللحم. تم إجراء التجربة في مختبر الفسيولوجيا الحيوانية التطبيقية بجامعة

(Lemna)

عبد الحميد بن باديس في مسقط رأسه. شُيخ لوجل الفلانية المصنوعة في هذه الدراسة، الأوزال الدقوقة و عدس الماء

المصنوعة من وحت إنتاج محبة في والفة مصنوعة، وتم حمة في الربوع.

تبت زراعة الأوزال في أحوال طبة سعة 100 لتر وفي برك خارجية. حانظت الأوصال الطبة على درجة حرارة بين 25-30 درجة مئوية، مع ضبط درجة الرطوبة بين 6.5 و 7.5، بوزن أبت إضافة الأسمدة الأربعة على البتروجين والنيترات والبيروكسيد. تم تثبيت الضياء بواسطة مصباح LED تضمن 12 ساعة من ضوء يوميًا. في حين كانت البرك تستخدم من ضوء طبيعي. كما تم استخدام مضخات مياه لضمان تسجج المياه بشكل ملائم.

بعد الحصول على الفلانة المحبة، تم جمع الأوزال وغسلها بالماء البارد وتجفيفها عند 28 درجة مئوية لمدة 72 ساعة. بعد ذلك أجريت التحليلات الكيميائية والفيزيائية. تم قياس نسبة البروتين عن طريق وزن الببتات قبل وبعد التجفيف عند 105 درجات مئوية لمدة 24 ساعة. وكانت نسبة البروتين في الأوزال و عدس الماء $92.5 \pm 1.2\%$ و $89.3 \pm 1.8\%$ على التوالي. تم تحديد محتوى البروتين بعد حرق الببتات عند 550 درجة مئوية حيث بلغت نسبة البروتين 14.6% للأوزال و 12.8% لعدس الماء. تم الحصول على البروتينات بدرجة عالية من البروتينات من البروتينات مما أعطى 77.9% و 76.5% على التوالي للبتين. وبلغت نسبة البروتين 4.5% $0.5 \pm$ للأوزال و 3.2% $0.4 \pm$ لعدس الماء.

تم قياس محتوى الكالسيوم والفوسفور في البطيخ ضوئي، حيث تم تسجيل الفصائل عند 663 للذئير و 750 للذئير الحيوانية للكالسيوم والفوسفور. وكانت نسبة الكالسيوم والفوسفور في الأوزال A 7.8 ملغ/غ و B 6.5 ملغ/غ.

الكلمات المفتاحية : الأوزال، عدس الماء، نباتي، لحوم، بروتينات.

Liste des tableaux

1. La répartition des espèces de l'Azolla dans le monde	08
2. Composition chimique de l'Azolla	09
3. Principaux minéraux de l'Azolla	10
4. Les principales acides aminés dans l'Azolla	11
5. la différence entre le végétarisme, le végétalisme et le véganisme	17
6. Besoins énergétiques quotidien en fonction de la période de la vie	19
7. Valeurs du taux de présence de <i>coliformes totaux</i> dans les échantillons l'Azolla et lentille d'eau.	51
8. Valeurs du taux de présence de <i>Escherichia coli</i> dans les échantillons l'Azolla et lentille d'eau	52
9. Analyses des valeurs du taux de présence de <i>Salmonelle</i> dans les échantillons l'Azolla et la Lentille d'eau.	53
10. Analyses des valeurs du taux de présence de <i>Staphylocoque</i>	54

Liste des figures :

1. Azolla microphylla.	07
2. Lentille d'eau	12
3. Evolution comparée de la demande en protéines végétales	28
4. Carte géographique de faculté des sciences exactes et de l'Information automatisé- Mostaganem	30
5. Lentille d'eau	31
6. Azolla microphylla	31
7. Préparation de la matière première	31
8. Steak vegan à base d'Azolla	32
9. Steak vegan à base de la Lentille d'eau	32
10. Steak vegan à base d'algues cuit.	32
11. Détermination de la teneur en matière sèche.	
12. Préparation des extraits de chlorophylle.	38
13. Préparation de la solution mère.	40
14. Teneur en matière sèche, matière minérale et en matière grasse de l'Azolla et la Lentille d'eau	44
15, 16, 17, 18. Croissance des <i>coliformes totaux</i> dans les différentes concentrations 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , et 10^{-4} de l'échantillon d'Azolla.	50
19. Croissance d' <i>Escherichia coli</i> dans les différentes concentrations 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , et 10^{-4} de l'échantillon d'Azolla.	52
20. Croissance de <i>salmonelle</i> dans les différentes concentrations 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , et 10^{-4} de l'échantillon d'Azolla.	53
21. Croissance de <i>Staphylocoque</i> dans la différente concentration 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , et 10^4 de l'échantillon d'Azolla.	54
22. Impact de la température sur la rétention des nutriments.	56
23. Effet de la température sur la croustillance de la texture.	57
24. Impact de la température sur la perte d'Humidité.	57

Liste d'abréviations :

FAO : L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

CO₂ : Dioxyde de carbone

B1: Thiamine

B6 : Pyridoxine

B12: Cobalamine

C: Acide ascorbique

E: Tocophérol

K: Phylloquinone

Lux : L'unité de mesure de l'éclairement lumineux dans le Système international d'unités

pH: Potentiel hydrogène

A : Rétinol

NDF: Fibre Détergente Neutre

ADF: Fibre Détergente Acide

MJ/kg : Mégajoules par kg

Vitamine D: Calciférol

POC: Protéines d'origine unicellulaire

NPK: Azote, phosphore, potassium

MM : Matière minérale

MO : Matière organique

MS : Matière sèche

MG : Matière grasse

BSA: Sérum-Albumine bovines

T_P: Teneur en protéines

ATP: Adénosine-Triphosphate

UFC : Unités Formant Colonie

VRBL : Violet Red Bile Lactose

AMPSI : Alliance pour l'Innovation dans la Viande, la Volaille et les
Produits de la Mer.

Sommaire

1. Introduction générale.....	01
2. Partie bibliographique	
Chapitre 01: Microalgues	
- Généralités sur les microalgues.....	03
- Définition des microalgae.....	03
- Besoins des microalgues.....	04
- L'Azolla.....	06
- Utilisation d'Azolla.....	11
- Lentille d'eau	12
3. Chapitre 02: Charcuterie vegan	
- Généralités sur le véganisme	16
- Définition des différents modes alimentaires	16
- Besoins nutritionnels chez le sujet sain	18
- Avantages du véganisme	21
- Inconvénients du véganisme.....	22
4. Chapitre 03: Comparaison entre la charcuterie vegan et la charcuterie animale	
- Charcuterie animale.....	23
- Charcuterie vegan.....	23
- Arguments de la viande de synthèse	26
- Utilisation des algues comme substitut de viande.....	27
5. Partie expérimentale	
Objectifs.....	29
Culture des algues	29
- Bassins expérimentaux	29

- Aquariums expérimentaux.....	29
Localisation géographique de la station expérimentale	30
Matériel utilisé	30
- Matériel végétale.....	30
- Préparation des échantillons	31
- Comment préparer et conserver la viande vegan	31
6. Résultats et discussion	
Coliformes totaux	50
Escherichia coli	51
Salmonelle	53
Staphylocoque	54
7. Conclusion générale	59
8. Références bibliographiques	

INTRODUCTION

Introduction générale

Il est bien connu que la viande et ses dérivés occupent une place centrale dans l'industrie alimentaire mondiale, principalement en raison de leur goût apprécié et de leur richesse en protéines. Parmi ces dérivés, la charcuterie, qui englobe diverses préparations à base de viande et d'abats, qu'elles soient crues ou cuites, utilise souvent le sel comme principal agent de conservation, que ce soit par salage à sec ou par saumurage. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la consommation mondiale de viande a explosé, passant de 67 millions de tonnes en 1957 à 323 millions de tonnes en 2017, soit une multiplication par cinq en 60 ans. Cette tendance ne montre aucun signe de ralentissement, avec une projection d'une hausse de 15 % entre 2018 et 2028, atteignant ainsi 470 millions de tonnes d'ici 2050. L'essentiel de cette augmentation, soit environ 76 %, proviendra des pays émergents. En Chine, par exemple, la consommation de viande est passée de 7 millions de tonnes en 1978 à une prévision de 86 millions de tonnes en 2027, dont 55 millions de tonnes seront de la viande de porc (Vallikkadan et al., 2023).

Cependant, la consommation excessive de viande et ses dérivés soulèvent des inquiétudes croissantes en matière d'impact environnemental, notamment en raison des pratiques d'élevage intensif, qui sont de plus en plus perçues comme non durables (FAO, statistiques mondiales en temps réel). En réponse à ces préoccupations, des recherches récentes ont mis en lumière la possibilité de remplacer la viande par des alternatives végétales naturelles, issues notamment de microalgues comme l'*Azolla* et les lentilles d'eau. L'*Azolla*, une fougère aquatique flottante appartenant à la famille des Azollacées, est connue pour sa capacité à se développer rapidement. Dans des conditions optimales, cette plante aquatique, qui pousse dans les étangs et zones humides des régions tempérées et tropicales, peut doubler sa biomasse en seulement trois jours (Kumar et Chander, 2017). De la même manière, les lentilles d'eau, présentes dans des environnements similaires, sont des plantes flottantes capables de croître rapidement grâce à leur capacité à absorber des éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore. Elles peuvent doubler leur biomasse en 24 à 36 heures dans des conditions favorables (Faits et chiffres, 2023).

Ces alternatives végétales présentent un fort potentiel pour le développement de produits alimentaires vegan, y compris des produits de charcuterie, permettant ainsi de réduire l'empreinte environnementale liée à la production de viande. C'est dans cette perspective que notre travail se propose d'explorer et de développer une charcuterie 100 % vegan, sans

Introduction générale

recours à aucun produit d'origine animale, en utilisant des sources végétales innovantes comme l'Azolla et les lentilles d'eau. L'objectif de cette étude est d'évaluer la faisabilité de créer des alternatives végétales à la charcuterie, tout en répondant à la demande croissante pour des produits plus durables et écoresponsables (Kale et al., 2022; Bedin et al., 2018).

Partie bibliographique

Chapitre 01 : Microalgues

« Azolla Microphylla,

Lentille d'eau »

1. Généralités sur les microalgues

Les microalgues sont des microorganismes qui se développent dans l'eau grâce à la photosynthèse. Leur présence est omniprésente à travers le monde, que ce soit dans les océans, les lacs ou même sur la glace. Une étude montre qu'une goutte d'eau peut contenir des dizaines de millions de cellules microscopiques. (**Franco et Paula, 2023**).

Leurs caractéristiques biochimiques uniques en font des candidates idéales pour la production de molécules à haute valeur ajoutée dans des secteurs telles que la pharmaceutique et la cosmétique. Leurs avantages en matière de nutrition les rendent également attrayantes pour l'alimentation humaine et animale, il est nécessaire de clôturer de nouvelles sources et les microalgues peuvent devenir une option durable pour soutenir les humains, ainsi que pour le respect de l'environnement. Ce sont des organismes aquatiques à grand potentiel, contenant beaucoup de protéines, d'acides gras oméga-3, de minéraux, de vitamines et de probiotiques. Avec le développement continu de technologies de transformation et de culture, les microalgues deviennent de plus en plus importantes dans la recherche de solutions durables pour l'avenir (**Franco et Paula, 2023**).

2. Définition des microalgues

Les microalgues sont des organismes photosynthétiques unicellulaires, généralement de petite taille, présente dans divers milieux aquatiques, jouant un rôle important dans les écosystèmes et étudié pour leur potentiel dans divers domaines tels que l'alimentation, l'énergie et l'environnement (**Huisman et al., 2018**). Ce sont des microorganismes qui appartiennent au groupe des thallophytes, ce qui signifie qu'ils n'ont ni racines ni feuilles. Les microalgues ont la particularité de transformer l'énergie lumineuse et le dioxyde de carbone CO₂ en une quantité importante de produits organiques, due à la photosynthèse. Cette particularité résulte à des organismes extrêmement importants pour les écosystèmes aquatiques, car leur rôle est essentiel dans le cycle du carbone et de l'oxygène. (**khatab et toumi, 2019**)

Les microalgues sont divisées en deux grandes catégories sont : les procaryotes et les eucaryotes. Les procaryotes sont représentés par les cyanobactéries (parfois appelées « algues bleu-vert ») alors que les eucaryotes constituent un groupe diversifié, constitué de nombreuses classes (**Bonnefond et al., 2020**).

Les microalgues se distinguent par leur grande diversité morphologique, ce qui leur permet de coloniser une variété de milieux terrestres et aquatiques. Leur diversité morphologique se manifeste à travers des différences de taille, de couleur et de forme, ce qui contribue à leur

adaptation à des environnements variés. Sur le plan biochimique, les microalgues présentent également une grande diversité de molécules au sein de leurs cellules, ce qui en fait une biomasse précieuse pour de nombreuses applications.

Les microalgues sont également riches en protéines, en vitamines (B1, B6, B12, C, E, K1), en pigments telles que les caroténoïdes (représentant environ 1% à 2% de leur composition) et en antioxydants. Elles sont principalement composées de lipides et avec une grande quantité de polysaccharides par rapport aux microalgues (environ 60 % contre 30-40 %). Elles contiennent entre 35,2 % et 57 % de carbone, 24 et 35 % d'oxygène, 6 à 9 % d'hydrogène et entre 2 et 12 % d'azote, tandis que la quantité de soufre n'excède généralement pas 1,5 %. Cette diversité de composés confère aux microalgues un large éventail d'applications potentielles dans des domaines tels que la nutrition, la santé, la cosmétique et l'énergie (**Raikova et al.**, 2019).

3. Besoins des microalgues - Facteurs influents sur la croissance des microalgues

Les microalgues nécessitent divers éléments pour se développer. La lumière et une température idéale sont essentielles comme sources d'énergie. De plus, la disponibilité en dioxyde de carbone, les macronutriments et les oligo-éléments sont des facteurs chimiques cruciaux. Leur croissance est également influencée par des variables telles que l'aération et la concentration en oxygène.

Lumière

La lumière représente le paramètre principal dans la croissance photosynthétique des microalgues, et ce par photosynthèse, cette dernière représente le fonctionnement par lequel les microalgues transforment l'énergie lumineuse, ou autrement dit la lumière absorbée, en une énergie chimique permettant de produire des composés organiques. La lumière a également un impact sur la composition cellulaire des microalgues, ce phénomène est nommé photoadaptation ou photoacclimatation. L'*Azolla* prospère avec une exposition au soleil comprise entre 25 et 50 % pour une croissance normale. La meilleure intensité lumineuse pour favoriser sa croissance se situe entre 15 et 18 lux. Cependant, une intensité lumineuse excessive inhibe la croissance et la photosynthèse de l'*Azolla*. En été, une exposition prolongée à une lumière intense peut entraîner un changement de couleur de l'*Azolla*, passant du vert au rouge brunâtre, mais elle retrouve sa couleur verte lorsqu'elle est à nouveau à l'ombre. L'*Azolla* affiche une croissance maximale lorsqu'elle est exposée à une photopériode d'environ 20 heures (**sebastian et al.**, 2021).

Température

La température est considérée comme l'un des facteurs environnementaux les plus importants qui influencent le taux de croissance des algues, la taille des cellules, la composition biochimique et les besoins en nutriments. Les cultures de microalgues absorbent la chaleur par rayonnement de la source lumineuse utilisée, ce qui entraîne une augmentation de la température dans la culture. Ainsi, pour une culture extérieure à grande échelle, l'irradiation du soleil et la température associée doivent également être prises en compte (**Deb et al.**, 2017). La température optimale pour la croissance des microalgues varie de 20°C à 35°C, bien que certaines espèces mésophiles puissent supporter jusqu'à 40°C. En dessous de la température optimale, le rendement de la souche est réduit, mais la surchauffe des cultures a été identifiée comme critique, car elle peut endommager les cellules. (**Chowdury et al.**, 2020)

Carbone

La culture de microalgues pour la capture et la fixation du CO₂ a suscité une grande attention en raison de son taux photosynthétique élevé qui permet une biofixation plus efficace du CO₂. La revue actuelle se concentre sur la capture du carbone grâce à l'évolution de la photosynthèse des microalgues. L'efficacité de la capture du CO₂ par les microalgues peut changer en fonction de l'état des espèces de microalgues, de la physiologie et des conditions environnementales, telles que les concentrations de CO₂, le pH, l'intensité lumineuse et l'oxygène dissous. (Shengnan et al., 2022)

Besoins nutritifs

L'azote est un macronutriment essentiel à la croissance des microalgues et joue un rôle important dans la synthèse des protéines, des lipides et des glucides (**Yodsuwan et al.**, 2017 ; **Zarrinmehr et al.**, 2019) . Généralement, la concentration en azote influence de manière significative la croissance des microalgues et leurs compositions biochimiques ; dans le même temps, l'épuisement de l'azote dans le milieu de culture entraîne une diminution de la croissance avec une augmentation concomitante des productivités lipidiques. Les microalgues peuvent assimiler l'azote sous forme de nitrate, nitrite, urée et ammonium, néanmoins, le nitrate est largement utilisé pour la culture de microalgues par rapport aux sels d'ammonium, car il est plus stable et présente moins de risques de changement de pH. (**Maizatul et al.**, 2021)

Le phosphore est un autre composé essentiel qui joue un rôle important dans la croissance des algues, la production de lipides, le rendement en acides gras et les processus métaboliques tels que le transfert d'énergie, la transduction du signal et la photosynthèse (**Yang et al.**, 2018 ; **Ota**

et al., 2016) les microalgues peuvent absorber le phosphore sous forme de polyphosphate ou d'orthophosphate pour améliorer leur croissance et leur contenu nutritionnel dans les cellules. La concentration optimale de phosphore pour les microalgues est comprise entre 0,001 g/L et 0,179 g/L. (**Yodsuwan** *et al.*, 2017 ; **Zarrinmehr** *et al.*, 2019)

Tout comme les autres plantes, l'*Azolla* nécessite un large éventail de macro et micronutriments pour assurer son bon fonctionnement, sa croissance et sa multiplication végétative. La présence de certains micronutriments, tels que le fer, le manganèse, le cuivre et le cobalt, est particulièrement bénéfique pour favoriser l'efficacité de la fixation de l'azote par l'*Azolla*. Cependant, il est important de maintenir un équilibre approprié de ces micronutriments, car une accumulation excessive de certains, comme le cuivre, le cobalt, le plomb et le zinc, peut avoir des effets toxiques sur l'*Azolla*. En revanche, un excès de fer et de manganèse ne peut pas être fatal pour la plante. Ainsi, pour promouvoir une croissance saine de l'*Azolla*, il est essentiel de surveiller attentivement les niveaux de micronutriments dans son environnement et de veiller à ce qu'ils restent équilibrés afin de répondre aux besoins spécifiques de cette plante aquatique (**sebastian** *et al.*, 2021).

pH

L'*Azolla* favorise un pH neutre ou légèrement acide (**sebastian** *et al.* , 2021). L'*Azolla* est capable de survivre dans une large gamme de pH de l'eau, allant de 3,5 à 10. Cependant, sa croissance maximale se produit lorsque le pH de l'eau est compris entre 4,5 et 7(**rajesh**, 2020).

Besoins en eau

Pour favoriser la croissance et la multiplication de l'*azolla*, il est nécessaire de maintenir une couche d'eau fraîche d'une profondeur comprise entre 10 et 15 cm dans les bassins. (**Trada et Malam** , 2020) Cette stratégie favorise également une bonne nutrition minérale, car les racines de l'*azolla* se situent près de la surface de l'eau. Étant très sensible au manque d'eau, cette plante nécessite un approvisionnement constant en eau. Ainsi, maintenir un niveau d'eau approprié est indispensable pour assurer son développement optimal (**rajesh**, 2020).

4. L'Azolla

Définition de l'Azolla

L'*Azolla*, souvent connue sous le nom de fougère aquatique, fait partie de la famille des salviniaçées à croissance rapide et possède une biomasse qui peut quadrupler en quelques jours seulement. Il pousse dans les fossés, les champs humides et les zones d'eau douce tropicale ou climat subtropical. *Azolla* compte environ neuf espèces de fougères il se reproduit sexuellement

à l'aide de minuscules spores mâles et d'énormes spores femelles (**Aditi Sharma et al., 2023**). L'*Azolla microphylla* a également besoin de nutriments limités pour sa croissance et utilise la capacité de fixation de l'azote de son endosymbionte. (**Manpreet et al., 2021**). L'*Azolla*, une plante, est une source alimentaire prometteuse avec une teneur élevée en protéines brutes (plus de 20%), des acides aminés essentiels comme la lysine, et des vitamines A et B, ainsi que des minéraux tels que le calcium, le phosphore, le potassium et le magnésium. Utilisé couramment comme bio-engrais dans la culture du riz (**Chander et Kumar, 2017**) il constitue également un complément alimentaire bénéfique pour le bétail, la volaille, les lapins et les poissons (**Rajesh, 2020**).



Figure 1: *Azolla microphylla* (**Gaurav, 2022**).

Origine et la répartition d'*Azolla* dans le monde

Selon (**Mosha, 2018**) la domestication de l'*Azolla* a été historiquement attestée dès le 1er siècle après J.-C. au Vietnam, et le genre a été formellement établi par Lamarck en 1783. Les différentes espèces d'*Azolla* se trouvent à travers le monde, habitant les écosystèmes d'eau douce des régions tempérées et tropicales. Des recherches récentes suggèrent que les espèces du genre *Azolla* ont leurs origines en Amérique du Nord et du Sud, tandis que celles du genre *Rhizosperma* proviennent d'Afrique, d'Asie et d'Australie.

Tableau 1: La répartition des espèces de l'Azolla dans le monde selon (**Mosha**, 2018)

Genre	Espèce	Répartition dans le monde
Euzolla	A. filiculoides	Sud de l'Amérique du Sud et ouest de l'Amérique du Nord jusqu'en Alaska
	A. caroliniana	Est de l'Amérique du Nord, Amérique centrale, Amérique du Nord du Sud, Caraïbes, Mexique et Antilles
	A. mexicana	Nord de l'Amérique du Sud à la Colombie-Britannique, Ouest de l'Amérique du Nord et vers l'Est jusqu'à l'Illinois
	A. microphylla	De l'Ouest et du nord de l'Amérique du Sud au sud de l'Amérique de Sud au sud de l'Amérique du Nord et aux Antilles
Rhisosperma	A. pinnata	Afrique tropicale et Afrique australe, Asie du Sud-Est, Japon et Australie
	A. nilotica	Afrique centrale, Haut-Nil Soudan, Ouganda , Tanzanie, Congo et Namibie

Description et morphologie d'Azolla :

Elle se caractérise par sa petite taille et sa capacité à flotter à la surface de l'eau grâce à une tige principale. Les feuilles, disposées en alternance le long de cette tige, sont accompagnées de racines adventives régulièrement espacées. Des tiges supplémentaires peuvent émerger à partir de certaines intersections des feuilles. Les feuilles d'Azolla adoptent une forme triangulaire ou polygonale et peuvent flotter individuellement ou former des tapis denses à la surface de l'eau (**mosha**, 2018).

Chaque feuille d'*Azolla* est constituée de deux lobes distincts : un lobe dorsal exposé à l'air et de couleur vert grâce à la chlorophylle, et un lobe ventral partiellement immergé, ayant une forme coquillée et dépourvue de pigment, ce qui permet à la plante de flotter (Roy *et al.*, 2016). L'*Azolla microphylla* est une espèce connue pour sa capacité à fixer de grandes quantités d'azote atmosphérique à l'intérieur de ses feuilles (Saruga et Sivashanthini, 2022).

La composition chimique de l'*Azolla*

La composition chimique de différentes espèces d'*Azolla* varie en fonction de facteurs tels que les écotypes, les conditions environnementales et la phase de croissance. En général, la teneur en matière sèche (MS) est relativement faible, se situant entre 5 et 7 %. Les protéines constituent une part significative de la matière sèche, atteignant généralement de 19 à 30 % dans des conditions de croissance optimales. L'*Azolla* présente également une teneur élevée en lysine, représentant environ 4 à 6 % de la protéine totale, ce qui la rend comparable au soja en termes de contenu protéique. En comparaison avec d'autres plantes aquatiques, l'*Azolla* présente une quantité similaire de protéines en moyenne, soit environ 27,5 %, mais elle est notablement plus riche en parois végétales, atteignant une moyenne de 47,3 %. En ce qui concerne les fibres, l'*Azolla* affiche une concentration relativement élevée, avec un taux de fibre brute d'environ 15% de matière sèche et une teneur en lignine de l'ordre de 10 à 13 % de matière sèche. Comme beaucoup d'autres plantes aquatiques, l'*Azolla* est également riche en matière minérale, représentant entre 10 et 20 % de la matière sèche. En conséquence, elle peut servir de source précieuse de macro et de microminéraux. L'*Azolla* présente un potentiel nutritionnel important en raison de sa teneur élevée en protéines, en fibres et en minéraux, ce qui en fait un candidat attrayant pour diverses applications, notamment dans l'alimentation animale, l'agriculture et la nutrition humaine.

Tableau 2 : Composition chimique de l'*Azolla* (Feedipedia, 2019)

Analyse principale	Unité	Moy	Min	Max
Matière sèche	% aliment	6,7	5,1	8,7
Protéines brutes	% MS	20,6	13,9	28,1
Fibre brute	% MS	15,0	11,3	22,8
NDF (Fibre détergente neutre)	% MS	43,8	35,4	52,3

ADF (Fibre détergente acide)	% MS	31,8	24,0	38,9
Lignine	% MS	11,4	9,3	13,5
Extrait d'éther	% MS	3,8	1,9	5,1
Cendre	% MS	15,9	9,8	21,6
Amidon (polarimétrie)	% MS	4,1	2,7	5,5
Énergie brute	MJ/kg DM	17,0		

Tableau 3 : principaux minéraux de l'Azolla (Feedipedia, 2019)

Les minéraux	Unité	Moy	Min	Max
Calcium	g/ kg MS	1,0	5,8	17,0
Phosphore	g/ kg MS	6,1	0,3	15,5
Potassium	g/ kg MS	17,4	10,9	22,5
Sodium	g/ kg MS	9,0	2,8	12,5
Magnésium	g/ kg MS	5	3,9	6,1
Manganèse	Mg/ kg MS	762	208	1429
Zinc	Mg/ kg MS	38	11	77
Cuivre	Mg/ kg MS	16	Dix	28
Fer	Mg/ kg MS	3900	11	8200

La teneur en protéines dans l'Azolla représente environ 19 à 30% de matière sèche (MS), dans des conditions de croissance optimales, avec une teneur en lysine relativement élevée, atteignant 4 à 6 % de la protéine. Elle est également riche en fibres, avec un NDF pouvant dépasser 50 % de MS, une fibre brute d'environ 15 % de MS et une teneur en lignine de 10 à 13 % de MS. De plus, cette plante aquatique est abondante en matière minérale, constituant environ 10 à 20 % de la MS, ce qui en fait une source importante de macro et de microminéraux. (Feedipedia, 2019).

Tableau 4 : Les principaux acides aminés dans l'Azolla (**Roy et al.**, 2016)

Acides aminés [% de protéines]	Moy	Min	Max
Alanine	6,4	5,3	7,4
Arginine	5,9	5,1	6,6
Acide aspartique	9,3	8,2	10,3
Cystine	1,6	0,7	2,3
Acide glutamique	12,6	11,6	13,5
Glycine	5,6	4,5	6,6
Histidine	2,1	1,6	2,4
Isoleucine	4,5	3,7	5,4
Leucine	8,4	7,0	9,2
Lysine	4,7	3,5	6,5
Méthionine	1,4	1,2	1,9
Phénylalanine	5,4	5,2	5,6
Proline	4,9	3,5	1,9
Sérine	4,5	3,9	5,6
Thréonine	4,7	4,0	5,3
Tryptophane	1,8	1,5	2,0

Utilisation d'Azolla :

L'Azolla joue un rôle important dans l'alimentation en raison de ses propriétés nutritionnelles remarquables. Avec sa teneur élevée en protéines brutes, elle peut être une source alternative de protéines pour les régimes alimentaires. De plus, sa richesse en caroténoïdes en fait une source précieuse de vitamines et de pigments naturels. L'Azolla est également utilisée pour son profil d'acides aminés bénéfique, qui offre un équilibre optimal pour l'alimentation humaine et animale. Toutes ces caractéristiques font de l'Azolla une plante aquatique d'une grande importance dans le domaine de l'alimentation (**singh et al.**, 2022).

5. Lentille d'eau

Définition de la Lentille d'eau

Les lentilles d'eau, également connues sous le nom de Lemna et classées dans la famille des Lemnaceae, sont des plantes aquatiques flottantes. Elles se manifestent sous la forme de minuscules lentilles vertes qui dérivent à la surface des étendues d'eau. Leur dimension varie généralement entre 1 et 10 millimètres. Leur remarquable capacité de reproduction leur permet de proliférer rapidement dans les environnements aquatiques. Malgré leur petite taille, ces algues revêtent une grande importance écologique (**Chergui et al.**, 2020)

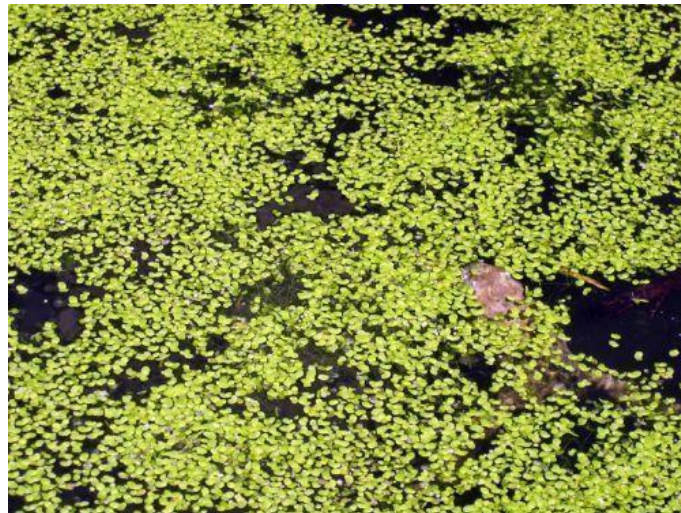


Figure 2: Lentille d'eau (**Girod**, 2017)

Carte d'identité de la Lentille d'eau

Les lentilles d'eau sont des plantes aquatiques qui peuvent être qualifiées de parasites. Voici une fiche générale pour identifier cette plante ainsi que sa source (**Girod**, 2017).

- Nom commun : Lentille d'eau minuscule
- Nom scientifique : *Lemna minuta*
- Famille : Lemnacées
- Habitat : Eaux douces
- Origine : Amérique du Nord

- Introduction : Aquariums et bassins

Morphologie de la Lentille d'eau

Les Lentilles d'eau se caractérisent par leur organisation simple, se composant généralement d'une ou de quelques frondes flottantes ou submergées. Ces frondes, qui ressemblent à des feuilles modifiées, peuvent être accompagnées de racines, bien que certains genres en soient dépourvus. Leur forme varie généralement entre ovale et ovoïde, bien qu'elles puissent parfois être étirées et allongées. Les lentilles d'eau se distinguent par leur mode de reproduction simplifié, se limitant à deux étamines et un pistil, enveloppés dans une spathe rudimentaire. Actuellement, on les considère comme monoïques, où chaque étamine représente une fleur mâle et le pistil une fleur femelle. Cependant, la floraison des lentilles d'eau est extrêmement rare, ces plantes ont donc élaboré un autre moyen de reproduction très efficace : à l'extrémité de chaque fronde se trouvent de petits bourgeons qui favorisent le développement de nouvelles frondes. Cette reproduction végétative est particulièrement rapide : en quelques jours seulement, une fronde peut produire 3 ou 4 nouvelles frondes, ce qui confère à ces espèces une remarquable capacité de colonisation. Les lentilles d'eau peuvent ainsi recouvrir entièrement certaines étendues d'eau en seulement quelques semaines (**Girod, 2017**).

Description de la Lentille d'eau

La lentille d'eau douce, également connue sous le nom scientifique de Lemnaminor, est une petite plante aquatique qui flotte à la surface des eaux calmes. Elle se caractérise par sa taille minuscule, avec un diamètre variant de 1,5 à 6 mm. Elle possède une seule racine mesurant généralement de 2 à 5 cm de longueur, qui est visible sous l'eau.

La partie principale de la lentille d'eau douce est sa lame foliacée, appelée fronde. Cette fronde, de couleur vert pâle, est plate sur les deux faces et agit comme un flotteur pour la plante. Elle correspond en fait à une tige transformée, qui peut éventuellement porter de minuscules fleurs sur son bord. Sous la loupe, on peut distinguer 3 à 5 nervures sur la face inférieure de la fronde.

La forme de la fronde de la lentille d'eau douce est généralement ovale à allongée, ce qui lui donne une apparence similaire à celle d'une lentille, d'où son nom. Cette adaptation lui donne l'avantage de flotter à la surface de l'eau, où elle peut évoluer dans des conditions adéquates.

Après que la plante se soit reproduite sexuellement en se divisant, un groupe de 2 à 6 lames peut demeurer connecté. Ces lames se rassemblent progressivement pour former un tapis uniforme sur la surface de l'eau. Quant à la fleur, elle se distingue par son absence de périanthe

et se compose de deux étamines ainsi que d'un pistil comprenant un seul carpelle (**Kuper et Corolla, 2019**)

Composition chimique de la Lentille d'eau

La lentille d'eau, également connue sous le nom de *Lemna minor*, est une plante aquatique flottante qui se trouve souvent à la surface des plans d'eau. Les principaux composés chimiques de la lentille d'eau sont l'eau ainsi que d'autres nutriments et composés organiques, les détails de ces derniers sont les suivants :

- Comme son nom l'indique, la lentille d'eau est principalement composée d'eau, qui constitue la majeure partie de sa masse.
- La lentille d'eau comporte des protéines, qui sont importantes pour la croissance et le métabolisme de la plante.
- Les glucides représentent une source d'énergie pour la plante. Ils sont le résultat de différents processus métaboliques.
- Les lipides, classés comme des composés organiques, ils favorisent le stockage d'énergie et la structure cellulaire.
- Plusieurs minéraux et vitamines peuvent être retrouvés dans la lentille d'eau tels que la vitamine C, le potassium, le calcium et le fer.
- Les fibres sont importantes pour la santé digestive et peuvent être présentes en petite quantité dans la lentille d'eau.

Il peut aussi y avoir certains composés phénoliques dans la lentille d'eau ils ont souvent des propriétés antioxydantes (**Chergui, 2020**)

Utilisation de la Lentille d'eau

La lentille d'eau, avec ses propriétés uniques, occupe une place importante dans divers secteurs industriels. Dans l'industrie alimentaire, elle sert d'aliment pour le bétail et les poissons, et est également utilisée dans la production de compléments alimentaires riches en protéines, les lentilles d'eau sont consommées depuis longtemps pour l'alimentation humaine (**Klaus et al., 2017**).

Dans le domaine agricole, elle agit comme un engrais naturel et un biostimulant, favorisant la croissance des plantes et réduisant la nécessité d'utiliser des produits chimiques. En outre, elle trouve son utilité dans l'industrie de l'eau, où elle est employée pour le traitement des eaux usées et la purification de l'eau potable. Sa capacité à absorber les nutriments et les contaminants lui donne l'avantage et le pouvoir de maintenir la qualité de l'eau dans des applications industrielles diverses

Chapitre 02: Charcuterie

vegan

1. Généralités sur le véganisme

L'origine du véganisme remonte aux années 1940 lorsque le terme a été introduit par Donald Watson en Angleterre. Le mot “vegan” est un mot anglais. Le véganisme est un mode de vie qui exclut l'utilisation et la consommation de tout produit d'origine animale ils ne consomment pas non plus de chose comme le lait et les œufs. Les vrais végétaliens ne mangent pas non plus de poisson. N'oubliez pas que les abeilles sont des insectes et que les végétaliens ne peuvent pas manger de miel, de gelée royale et de suppléments de pollen d'abeille. Il va au-delà du simple régime alimentaire et engage ses adeptes à éviter également les vêtements, les produits de beauté et toute autre forme de produit qui implique une exploitation animale. Le véganisme repose sur l'éthique du respect des animaux en ne les utilisant pas comme ressources et cherche à protéger leur droit à la vie et à la liberté. (Deloeuvre, 2018).

2. Définition des différents modes alimentaires

Végétarisme : Le végétarisme est un type d'alimentation qui exclut les aliments ayant nécessité la mort d'un animal : viande rouge et viande blanche, abats, volaille, poissons et fruits de mer, gélatine et présure (Mariotti, 2019).

Végétalisme : Le végétalisme se caractérise par une alimentation exclusivement composée de produits d'origine végétale, excluant ainsi toutes les viandes, poissons et autres produits d'origine animale tels que les fromages, le miel, le lait et la gélatine animale (Mathieu, 2016).

Véganisme : Le véganisme représente un mode de vie qui s'oppose au spécisme. Les personnes vegan adoptent non seulement une alimentation végétalienne, mais elles évitent également, dans la mesure du possible, de consommer des produits dérivés des animaux ou issus de leur exploitation. Par conséquent, ils ne recourent pas à des articles tels que le cuir, la laine, soie ou produits cosmétiques testés sur les animaux (Mathieu, 2016).

La différence entre le végétarisme, le végétalisme et le véganisme est bien élucidée dans le (tableau 05).

Alimentation vegan

Pour élargir l'éventail des choix alimentaires, les végétariens disposent de plusieurs grandes catégories d'aliments. Parmi celles-ci; les céréales, qui offrent une grande variété comme le blé, le riz, l'orge et le seigle. Elles peuvent être préparées sous forme de pâtes, de pain et transformées pour une meilleure valeur nutritive.

Tableau 1 : représentation de la différence entre le végétarisme, le végétalisme et le véganisme (ANSES-Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail, 2016)

Aliments	Végétarisme	Végétalisme	Véganisme
Œufs	✓	✗	✗
Produits laitiers	✓	✗	✗
Miel	✓	✗	✗
Viandes de charcuterie	✗	✗	✗
Gélatines de porc, bouillons de volaille	✗	✗	✗
Poissons	✗	✗	✗
Crustacés, coquillages et mollusques	✗	✗	✗
Produits issus de l'exploitation animale (cuir, cire d'abeille, cosmétiques, médicaments)	✓	✓	✗

- Les légumineuses, tels que le soja, les lentilles, les haricots et les pois chiches, forment une bonne source de protéines pour l'alimentation humaine. Elles peuvent être utilisées pour préparer des galettes, des burgers, des chilis ou des ragoûts, offrant une grande diversité de plats.
- Les oléagineux, comme les noix, les amandes, les noisettes et les graines de sésame, fournissent des quantités importantes de fer et de protéines.
- Les fruits et légumes sont bien entendu indispensables.
- Les substituts végans de viande, souvent produits industriellement, sont proposés sous forme de "steak végétal", de "nuggets de soja" ou de "saucisses végétales".
- Les substituts d'œufs, tels que les graines de lin, les graines de chia, les bananes et l'eau de pois chiches, sont largement utilisés en pâtisserie végane.
- Les substituts laitiers, comme le lait d'amande, d'avoine, de riz, de noisette ou de noix de cajou, sont utilisés pour préparer du "fromage végétal" ou des glaces véganes.

- En outre, la cuisine végétane ne se limite pas à cette liste et peut incorporer des épices, des algues ou des bouillons, entre autres.

Cependant, des recherches approfondies révèlent que suivre principalement un régime végétalien peut couvrir la plupart des besoins nutritionnels humains. Pour ce qui est des protéines, les légumineuses, les céréales et les oléagineux peuvent compenser l'absence de protéines animales. Bien que les protéines d'origine végétale soient plus riches en fibres, antioxydants et vitamines B et C, les protéines animales sont généralement mieux assimilées par l'organisme et contiennent des acides aminés essentiels.

Besoins nutritionnels chez le sujet sain

Les besoins nutritionnels comprennent les apports énergétiques fournis par les macronutriments (glucides, lipides, protéines), les besoins en micronutriments et les besoins en eau. (ANSES-Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2018).

Besoins énergétiques, besoins en macronutriments

Le besoin énergétique de l'organisme, où la dépense énergétique totale est le résultat de quatre composantes distinctes.

Tout d'abord, le métabolisme de base correspond à l'énergie requise pour assurer les fonctions essentielles de l'organisme pendant une journée, comme la respiration, la digestion, le cœur et les processus métaboliques.

Par la suite, la thermogénèse alimentaire désigne la quantité d'énergie utilisée pour absorber, conserver et métaboliser les aliments lors de la digestion.

La régulation thermique est le troisième élément de la consommation d'énergie, car elle est le paramètre responsable à garder la température corporelle de l'humain constante. La température corporelle humaine doit maintenir une température corporelle constante, habituellement comprise entre 37 et 37,5°C.

Cette dépense diffère selon l'environnement dans lequel l'individu se trouve. Finalement, la consommation d'énergie associée à l'exercice physique est une variable.

Ces dernières années, le niveau d'activité physique de l'homme tend à diminuer, avec un mode de vie de plus en plus sédentaire (**Tableau 6**).

Passer de longues périodes assis tout au long de la journée réduit la dépense énergétique associée à l'activité physique, ce qui influe sur les besoins énergétiques totaux de l'individu. (**Anses-Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail**, 2018).

Le tableau ci-dessous présente les besoins énergétiques requis à différentes étapes de la vie. Après l'âge adulte, les besoins énergétiques tendent à diminuer progressivement tout au long de la vie, en grande partie en raison de la réduction de la dépense énergétique associée au métabolisme de base.

Tableau 6 : Besoins énergétiques quotidiens en fonction de la période de la vie (**ANSES**, 2018)

Période de la vie	Enfant	Adolescent	Femme adulte	Homme adulte
Besoins énergétiques quotidiens en kcal/jour	Varie entre 1 300 et 1 800	Varie entre 1 900 et 2 700	2 100	2 600

Protéines

Les protéines sont de grandes molécules complexes avec un poids moléculaire élevé, constituées de chaînes d'acides aminés reliés entre eux par des liaisons peptidiques (-CO-NH). Elles sont riches en azote.

Il existe 20 acides aminés dans les protéines alimentaires, dont 8 à 9 sont considérés comme essentiels, en fonction de la situation physiologique ou pathologique. Les autres acides aminés présents dans les tissus ne sont pas utilisés dans le métabolisme humain. Les protéines du corps humain sont nombreuses et représentent environ 10 kg de masse, c'est pour cette raison que c'est dernier représente la deuxième réserve de macronutriments après les lipides.

Les protéines remplissent diverses fonctions dans l'organisme, notamment des fonctions structurelles (comme la kératine et le collagène), catalytiques (en tant qu'enzymes), immunitaires, endocriniennes, de contraction musculaire (actine et myosine des muscles), de transport d'ions ou de substrats divers, ainsi que dans le maintien et le développement de la masse musculaire maigre (**Darmaun**, 2019).

Lipides

Sont des substances grasses qui assurent avec les glucides et les protéines les besoins en matériaux de construction et en énergie de l'organisme. Les lipides se trouvent dans la matière grasse des aliments, les huiles, le beurre ou la crème. Les lipides contribuent à la formation des membranes des cellules. Certains tissus, comme le cerveau et la moelle osseuse, sont constitués essentiellement de lipides.

Dans le corps, les lipides assument deux fonctions primordiales :

Stockage d'énergie : Sous forme de triglycérides, les lipides sont emmagasinés, principalement dans les tissus adipeux, pour être utilisés ultérieurement comme source d'énergie. **Soutien structural :** Sous forme de phospholipides, les lipides sont intégrés dans les membranes cellulaires, contribuant à maintenir leur intégrité et leur fluidité, ce qui est essentiel pour leur fonctionnement optimal (ANSES, 2021).

Vitamines

Les vitamines jouent un rôle important dans diverses fonctions biologiques, notamment l'entretien sain de l'organisme. Un déficit en vitamines peut entraîner des troubles pathologiques, tandis qu'une surconsommation prolongée peut avoir des effets néfastes. Étant donné que la plupart des vitamines ne sont pas synthétisées par l'organisme, à l'exception des vitamines K et D, leur apport provient principalement d'une alimentation équilibrée. Ces nutriments essentiels se divisent en deux catégories principales : les vitamines liposolubles comportent deux différentes catégories ; qui se dissolvent dans les graisses, et les vitamines hydrosolubles, qui se dissolvent dans l'eau.

Les vitamines liposolubles :

Les vitamines A, E, K et D sont classées parmi les vitamines liposolubles, et ce par rapport à leur dissolution dans les graisses. Ces vitamines sont souvent retrouvées dans les poissons gras, les fromages, les oeufs et dans d'autres différentes graisses d'origines végétale et animale ces vitamines ont la particularité d'être stockées dans l'organisme, assurant ainsi des réserves pour les périodes où notre apport en vitamines est réduit.

Les vitamines hydrosolubles :

Les vitamines B (B1 à B12) et C sont hydrosolubles, ce qui signifie qu'elles se dissolvent dans l'eau sans être stockées par le corps. Et finissent par être toutes évacuées. La

cuisson à vapeur favorise la préservation de ces vitamines, contrairement à la cuisson directe (Élie, 2022).

Glucide

Les glucides font partie des composés organiques et sont classés en deux principaux types : les glucides simples et les glucides complexes. Les glucides simples incluent des molécules telles que le glucose, le fructose et le galactose, qui peuvent se combiner pour former des sucres comme le saccharose (sucre de table), le lactose ou le maltose. Les glucides complexes englobent des substances comme l'amidon, le glycogène et les fibres alimentaires.

Les glucides présentent plusieurs caractéristiques distinctives :

- ✚ Ils sont les substrats énergétiques préférés des cellules.
- ✚ Ils sont classés en glucides simples et en glucides complexes.
- ✚ Dans l'organisme, leur stockage dans l'organisme est sous forme de glycogène.
- ✚ On les retrouve principalement dans les produits sucrés tels que les féculents et les fruits.
- ✚ Un excès de glucides peut conduire à des complications à long terme telles que l'hyperinsulinisme et le diabète de type 2 (Gonzalez *et al.*, 2023).

Fibres

Les fibres alimentaires sont des composés glucidiques présents dans les aliments d'origine végétale. Leur composition chimique et leur structure peuvent varier considérablement, mais ce sont des polymères de sucres qui sont indigestes ou absorbés dans l'intestin grêle humain. En conséquence, elles passent intactes dans le côlon où elles sont fermentées par les bactéries du microbiote intestinal (Saidane *et al.*, 2019).

Avantages du véganisme

Les bienfaits du véganisme sont nombreux et divers. Le docteur Bernard-Pellet a mentionné en 2016 que la science a démontré que le véganisme réduit les problèmes d'obésité, de diabète de type 2, le cancer ainsi que la diminution de troubles intellectuels chez les personnes âgées (Bernard-Pellet, 2016).

Voyons donc les principaux avantages de cette alimentation : (Silva, 2022)

- ✚ **Réduis la probabilité de maladie cardiovasculaire** grâce à une consommation réduite en graisse saturée et en cholestérol.

- ✚ **Riche en fibres, en vitamines et en minéraux** grâce aux fruits et aux légumes.
- ✚ **D'un point de vue éthique, c'est le plus correct**, car cela va à l'encontre de la cruauté animale et de son exploitation.
- ✚ **Un système digestif en meilleure santé** grâce à l'apport de fibres présentes dans les légumes et les légumineuses.
- ✚ **Une sensation de satiété améliorée**, les fibres consommées sont aussi favorables lors d'une perte de poids.

Inconvénients du véganisme

Il peut être possible que le véganisme n'englobe pas assez de nutriments cruciaux, il est donc important de prendre en parallèle des compléments alimentaires, tel que la vitamine B12, la vitamine D, le calcium, le zinc et le fer. Les protéines sont abondantes dans les aliments d'origine animale. Cependant, il est également essentiel de consommer des quantités convenables de sources alternatives de protéine (Claessens, 2022). L'impact environnemental d'un végétalien est bien plus faible. En effet, l'élevage est responsable d'une part importante des émissions de gaz à effet de serre, tel que le méthane et le CO₂. Les problèmes environnementaux liés à la production de viande seraient la deuxième cause, avec la pollution du sol, l'air et de l'eau, ainsi que la détérioration de la biodiversité (Claessens, 2022).

Chapitre 03: Comparaison entre la charcuterie vegan et la charcuterie animalière

1. Charcuterie animale

Le terme "charcuteries", apparu aux alentours du XVI^e siècle, dérive de l'expression "chair cuite". En 1475 à Paris, la corporation des charcutiers, alors nommée "chair cuitiez", acquit son autonomie et se distingua de celle des bouchers. Les charcuteries englobent un ensemble de produits issus de la transformation de différentes viandes (porc, bœuf, volailles, gibiers, poissons), bien que la viande de porc demeure la principale matière première. En outre, elles incluent des produits conservés par le sel (salaisons), qui constituait autrefois le principal moyen de prévention des intoxications alimentaires (Dourmad, 2022)

Produits d'origine

animale Définition :

Tous les produits d'origine animale proviennent du corps des animaux et peuvent être utilisés comme aliments ou nourriture pour d'autres animaux. Par exemple, le lait, les œufs, le miel, ainsi que les aliments à base de viande ou de poisson sont des exemples courants. Certains de ces produits ne sont pas désignés à la consommation humaine et peuvent être utilisés dans d'autres domaines. Ils peuvent être utilisés tels quels ou partiellement transformés pour fabriquer des médicaments ou des produits pharmaceutiques, comme l'insuline d'origine animale, ou des produits sanguins à usage industriel. De plus, ils peuvent être intégrés dans la fabrication de cosmétiques, de peintures, de produits de nettoyage, de vernis, de colles, de savons et d'encre (prache, 2023).

2. Charcuterie vegan

L'intérêt croissant pour les produits alimentaires sans animaux s'est notablement développé ces dernières années, motivé par une fusion de considérations éthiques, environnementales et sanitaires. Face à l'essor des marchés de la viande, des produits laitiers et des protéines végétales, les entreprises, petites et grandes, se tournent vers la fabrication d'une nouvelle génération de choix sans produits animaux, reproduisant le goût, la texture et l'apparence des aliments traditionnels d'origine animale. Cette tendance a été accompagnée par une augmentation rapide de la demande, stimulant les progrès technologiques dans la création de produits alternatifs, en particulier d'origine végétale, qui imitent les propriétés des aliments d'origine animale. En 2018, l'étude du marché a estimé une Valeur de 4.6 milliards de dollars, avec des prévisions montrant une expansion qui peut atteindre 85 milliards de dollars jusqu'à 2030. Cet accroissement exponentiel démontre le besoin croissant de compréhension et

d'éducation sur ces produits. Or, le foisonnement de termes employés pour les décrire manque souvent de cohérence menant à des confusions et incertitudes (**Abbaspour et al.**, 2023).

Analogue de viande:

La définition d'un analogue de viande fait référence au remplacement de l'ingrédient principal par un autre ingrédient que la viande, Analogique se réfère à un produit à base de plantes conçu pour émuler à la fois les caractéristiques nutritionnelles et gustatives de son équivalent animal. L'objectif est de reproduire fidèlement l'aspect, la texture, le goût et d'autres qualités sensorielles de l'aliment pour animaux tout en maintenant ses propriétés nutritionnelles et fonctionnelles. Pour ce faire, ces produits nécessitent souvent une transformation minutieuse, avec une sélection rigoureuse d'ingrédients et de technologies, se distinguant ainsi des simples substituts ou remplacements (**Ismail et al.**, 2020).

Analogues de viande de première génération :

Les analogues de viande de première génération sont des produits alimentaires à base de plantes développés dans les années 1960 et 1970 pour imiter la texture, le goût et l'apparence de la viande. Principalement fabriquées à partir de soja, de blé, de noix, ces alternatives ont été créées pour répondre aux besoins des végétariens et des végétaliens cherchant à consommer des produits similaires à la viande sans utiliser de produits animaux. Cependant, ces premiers analogues de viande, fabriqués avec des techniques de transformation rudimentaires, ont été critiqués pour leur manque de saveur et de texture par rapport à la viande réelle. Parmi les exemples, on peut trouver les hamburgers végétariens, différentes variantes de poulet végétarien telles que les nuggets et les galettes, les saucisses ou les liens végétariens, les hot-dogs et les charcuteries (**Abbaspour et al.**, 2023).

Analogues de viande de deuxième génération :

Les analogues de viande de deuxième génération représentent une évolution dans les alternatives à base de plantes, visant à reproduire de manière plus authentique la texture, la saveur et l'apparence de la viande réelle par rapport aux produits de la génération précédente. Contrairement aux analogues de viande de première génération qui utilisaient principalement des protéines de soja, de gluten de blé ou de noix, les analogues de deuxième génération combinent souvent une variété d'ingrédients d'origine végétale ou similaire aux plantes, tels que des mycoprotéines, et recourent à des avancées technologiques alimentaires pour mieux reproduire l'expérience de la viande. La production de ces produits requiert une quantité accrue d'ingrédient et d'additifs, ainsi qu'un niveau de transformation plus poussé (**Schmid et al.**, 2022 ; **Wittek et al.**, 2021).

Plusieurs enseignent telles que Impossible Foods et Beyond Meat illustrant ces produits de deuxièmes générations exploitant des sources de protéines comme le Soja, le blé et les pois chiches. Des ingrédients tels que l'huile de coco et la fécule de pomme de terre afin de créer des alternatives qui reproduisent non seulement le goût et la cuisson de la viande animale, mais aussi son profil nutritionnel (**Nazanin et al.**, 2023).

Généralités sur la viande de synthèse :

La production de viande *in vitro* se déroule en deux étapes principales : la prolifération et la différenciation des cellules (**Post**, 2012). Durant la phase de prolifération, l'objectif est d'atteindre un nombre maximal de cellules et de favoriser leur duplication. Pour cela, il est crucial de recréer les conditions de croissance que les cellules rencontreraient naturellement dans un organisme vivant. Les cellules souches sont donc placées dans un milieu nutritif contenant des vitamines et des nutriments favorisant une croissance rapide, tandis que des stimulations mécaniques sont appliquées pour encourager la prolifération (**Stephens et al.**, 2018 ; **Sharma et al.**, 2015).

Actuellement, ce milieu nutritif est souvent dérivé de sérum fœtal ou embryonnaire, offrant ainsi une richesse en nutriments. La composition en nutriments du milieu nutritif peut varier selon l'étape spécifique de la culture cellulaire (**Tuomisto**, 2019 ; **Sharma et al.**, 2015).

Les techniques de culture de viande *in vitro* sont en constante évolution, comme en témoignent les nombreux prototypes développés ces dernières années. Bien que l'arrivée sur le marché de la viande *in vitro* soit difficile à prévoir, des entreprises telles que Mosa Meat aux Pays-Bas prévoient de commercialiser un produit dès 2021 (**Mosa**, 2019), tout comme Just et Memphis Meat. Cependant, plusieurs défis techniques et technologiques doivent encore être relevés avant une production à grande échelle de viande *in vitro*.

Reproduire la complexité moléculaire, la texture fibreuse et surtout le goût de la viande demeure un défi majeur, mais crucial pour favoriser l'acceptation du produit par les consommateurs (**Stephens et al.**, 2018 ; **Hocquette**, 2016).

En outre, un signe de l'organisation et de la mobilisation de l'industrie pour influencer la réglementation de la viande de synthèse est apparu à la fin du mois d'août 2019, lorsque cinq entreprises de viande de synthèse ont uni leurs forces pour former un lobby appelé l'Alliance for Meat, Poultry and Seafood Innovation (AMPSI) (**Purdy**, 2019). L'objectif de cette alliance est de sensibiliser le public à la viande de synthèse et de faire pression sur le législateur fédéral américain afin de participer activement et d'influencer le processus de réglementation (**Purdy**, 2019).

L'agriculture cellulaire de la viande de la synthèse :

Également connue sous le nom de viande in vitro, est une branche émergente de la biotechnologie appelée agriculture cellulaire, cette discipline se divise en deux catégories : les produits cellulaires et les produits acellulaires. Les produits cellulaires sont des tissus organiques cultivés à partir de cellules souches prélevées et différenciées en laboratoire (Tuomisto, 2019 ; Post 2012). Cette technique permet la fabrication de tissus musculaires comestibles qui une fois assemblés, ressemblent à des aliments traditionnels tels que la viande, le poisson ou les fruits de mer. Quant aux produits acellulaires, ils regroupent des protéines et d'autres composés synthétisés à partir de levures, de champignons ou de bactéries. Parmi ces produits figurent notamment les protéines du lait et de l'œuf, la gélatine, les acides gras et les sucres. Cette méthode de production est plus simple et moins coûteuse que la culture cellulaire et est déjà employée par l'industrie pour la production d'enzymes et d'additifs alimentaires, la culture acellulaire sera principalement utilisée pour la production d'aliments qui ne nécessitent pas la reproduction de tissus musculaires, tels que le lait ou les œufs. (Tuomisto, 2019).

Arguments de la viande de synthèse :

Les résultats de la recherche scientifique indiquent que la consommation de viande, surtout de viande rouge comme le bœuf, l'agneau et le cheval, est associée à plusieurs problèmes de santé dans les pays occidentaux. Il semble que la consommation de viande rouge puisse constituer un facteur de risque pour diverses maladies et conditions telles que les accidents vasculaires cérébraux, le diabète de type 2, l'insuffisance cardiaque et les maladies coronariennes (Juneau, 2017 ; Wolk, 2016 ; OMS, 2015). De plus, des études suggèrent que la viande rouge pourrait favoriser le développement de divers types de cancer chez l'homme (Wolk, 2016). En raison de ces préoccupations nutritionnelles, notamment en ce qui concerne la viande rouge, le bœuf en particulier, la viande de synthèse a été envisagée comme une alternative.

L'élevage industriel présente plusieurs risques sanitaires, parmi lesquels les contaminations bactériennes et les zoonoses, c'est-à-dire les maladies transmises des animaux aux humains, telles que la Covid-19 (Hocquette, 2020). Selon (Klous *et al.*, 2016), plus de 60 % des agents pathogènes qui affectent les humains sont d'origine animale, provenant notamment des animaux d'élevage confinés dans des espaces restreints. Les infections bactériennes, comme celle causée par *E.coli*, sont également des risques importants associés au confinement des animaux dans le cadre de l'élevage industriel.

Les démonstrations présentées par l'industrie et ses partenaires, au profit de l'amélioration de la viande de synthèse, montrent une diminution des impacts environnementaux issus de

l'élevage, une diminution de la souffrance animale et la progression de la santé humaine, tout en offrant un produit familier aux consommateurs : la viande, mais fabriquer de manière différente. Après avoir examiné la progression rapide de la technologie et ses avantages potentiels, nous nous pencherons maintenant sur la question de la réglementation de la viande de synthèse, sujet central de cette étude (**Jean, 2022**).

Utilisation des algues comme substitut de viande

La collecte mondiale d'algues fraîches s'élève à environ 30 millions de tonnes par an, soit environ 6 millions de tonnes d'algues séchées. Ce montant est faible par rapport aux 4 000 à 5 000 millions de tonnes d'aliments requises pour subvenir aux besoins de la population mondiale. Donc, en 2022, il n'y a toujours pas de répercussion significative des macroalgues sur l'alimentation humaine. Cependant, les microalgues telles que la spiruline, la lentille d'eau azolla, etc., attirent davantage les investisseurs. Elles sont cultivées en plein air ou dans des tubes de verre longs. Ces microalgues sont très riches en protéines (pouvant atteindre jusqu'à 65%), en vitamines, en minéraux et en antioxydants, ce qui en fait des compléments alimentaires prisés. Leur fort potentiel en tant qu'alternative aux protéines animale peut être conclu par une alternative définitive aux protéines animales (**Feillet, 2022**).

Actuellement, plusieurs alternatives potentielles sont explorées et sérieusement étudiées. Elles se présentent généralement sous la forme d'aliments déjà partiellement consommés dans certaines régions du monde, comme les algues et les microalgues, les insectes et certains produits végétaux. D'autres sources sont en cours de développement par le biais de la biotechnologie, offrant des options totalement innovantes telles que les protéines d'origine unicellulaire (POC) et les viandes cultivées en laboratoire. Marché (**Commission européenne, 2018**). Cependant, ces dernières options suscitent plus de controverses chez les consommateurs en raison des inquiétudes quant aux éventuels risques pour la santé et la sécurité liés à leur production. Selon la Commission européenne, d'ici 2054, environ un tiers des protéines consommées dans le monde seront des protéines alternatives. En temps normal, les insectes devraient représenter environ 11% du marché, tandis que les algues représentent environ 18% du marché (**Commission européenne, 2018**).

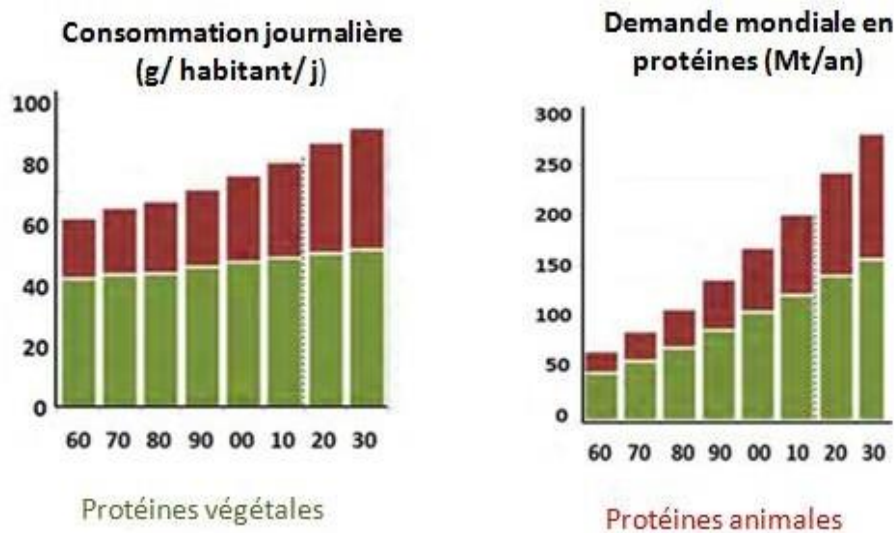


Figure 1: Évolution comparée de la demande en protéines végétales et animales dans le monde (source : FAO, 2022). (Feillet, 2022)

Les plans d'eau abondent en algues, dont beaucoup sont non seulement savoureuses, mais aussi sûres à consommer. Riches en acides aminés, vitamines, minéraux, acides gras oméga-3 et composés bioactifs, les algues comestibles offrent une gamme variée de nutriments essentiels. Leur présence omniprésente dans divers climats et leur diversité génétique suggèrent qu'elles pourraient jouer un rôle crucial dans l'évolution de notre cuisine.

Les cuisines à base d'algues se distinguent par leur durabilité, grâce à la facilité de culture et à la gestion des fermes d'algues. Les saveurs de ces dernières sont exaltées par des chefs experts qui utilisent la science et la technologie pour de meilleures saveurs. Cette discipline, connue sous le nom de phycogastronomie, gagne en popularité, témoignant de l'intérêt croissant des consommateurs pour ces alternatives alimentaires.

Parallèlement, alors que la demande de repas sains et fonctionnels augmente, les algues sont intégrées dans la cuisine carnée pour améliorer ses caractéristiques nutritionnelles. Ce chapitre explore donc la valeur nutritionnelle des algues, leurs recettes, ainsi que leur utilisation dans l'amélioration des produits carnés, en examinant leurs propriétés physico-chimiques et microbiologiques pour des applications culinaires et diététiques (Daina, 2022).

Partie expérimentale

1. Objectifs

L'objectif principal de cette étude est de développer un produit alimentaire analogue destiné à remplacer la viande, dans le but de réduire sa consommation. En parallèle, l'étude vise à concevoir un produit plus abordable que la viande, rendant ainsi ce substitut accessible à un plus grand nombre de consommateurs tout en ayant une empreinte carbone considérablement réduite.

2. Culture des algues

Bassins expérimentaux

Les bassins utilisés pour la culture de l'*Azolla* mesurent 20 m² avec une profondeur de 1 mètre. L'eau utilisée provient d'une collecte des eaux de pluie, soigneusement filtrée et décolorée avant utilisation. La température de l'eau a été maintenue entre 25°C et 30°C, et le pH régulés entre 6,5 et 7,5 pour garantir des conditions optimales de croissance. Des fertilisants contenant des éléments nutritifs essentiels comme l'azote, le phosphore et le potassium ont été ajoutés à des concentrations adaptées afin de favoriser le développement optimal de l'*Azolla*.

Aquariums expérimentaux

Les aquariums, d'une capacité de 100 litres chacun, ont été équipés de chauffages permettant de maintenir la température de l'eau dans la plage optimale de 25°C à 30°C. Le pH de l'eau a été ajusté à l'aide de solutions tampons, avec des valeurs comprises entre 6,5 et 7,5. Des fertilisants spécifiques ont été introduits en fonction des besoins nutritionnels de l'*Azolla*. L'éclairage a été assuré par des lampes LED, garantissant un cycle de 12 heures de lumière par jour. Les bassins extérieurs ont bénéficié de la lumière naturelle. Afin de maintenir une oxygénation adéquate de l'eau, des pompes à air ont été installées dans les aquariums. Les paramètres physico-chimiques de l'eau, incluant la température, le pH, ainsi que les concentrations en nutriments, ont été mesurés régulièrement. Des observations visuelles de la croissance et de la santé de l'*Azolla* ont également été effectuées.

3. Localisation géographique de la station expérimentale :

La station expérimentale est située au sein du laboratoire de Physiologie animale appliquée, sur le campus universitaire II de l'INES.

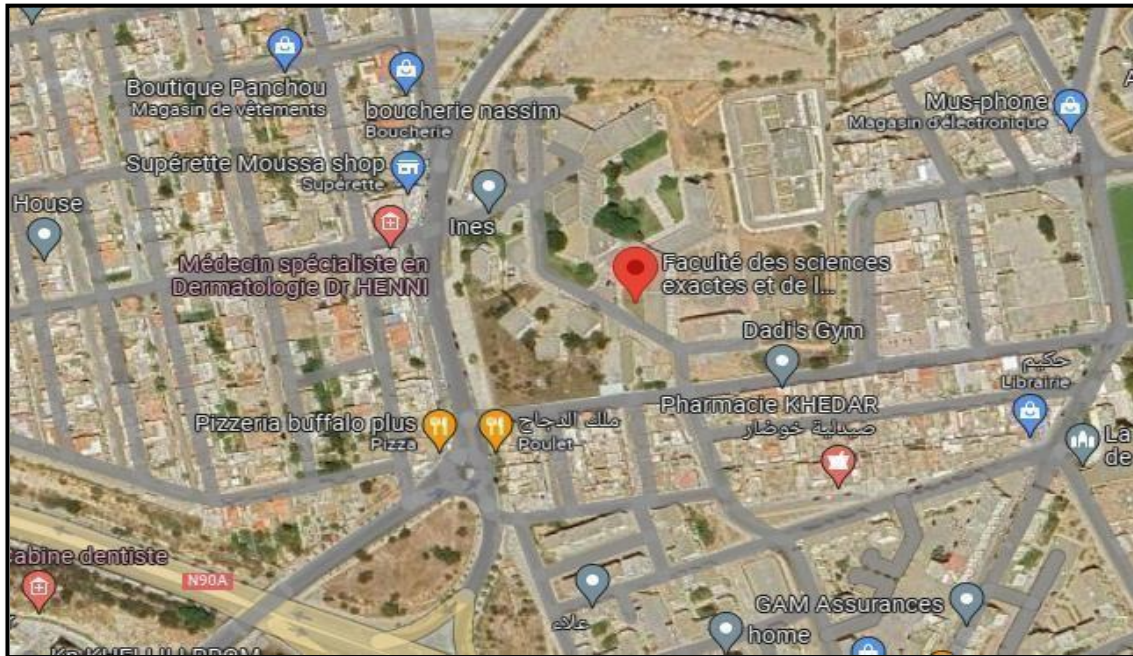


Figure 04 : Carte géographique de faculté des Sciences exactes et de l'Information automatisée-Mostaganem.

4. Matériels utilisés :

4.1. Matériel végétal :

L'espèce d'*Azolla* cultivée dans cette étude est *Azolla microphylla*. Les échantillons ont été obtenus d'une unité de production située dans la wilaya de Mostaganem, et la récolte a eu lieu au printemps. Par ailleurs, la lentille d'eau (*Lemna minor*) a également été utilisée dans l'expérimentation, avec des plants provenant de la même unité de production et récoltés durant la même période.

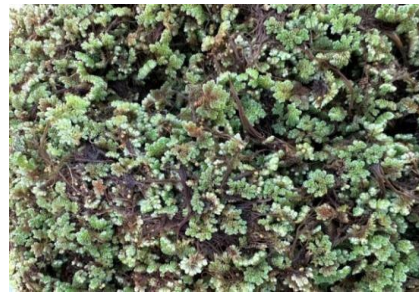


Figure 05: Lentille d'eau (photo originale) **Figure 06:** Azolla microphylla (photo originale)

5. Préparation des échantillons

Une fois la biomasse d'Azolla produite, celle-ci est retirée de son milieu de culture, rincée à l'eau salée pour éliminer les résidus indésirables, et triée afin de retirer les impuretés, insectes, ou autres organismes indésirables. Enfin, l'Azolla est séchée dans une étuve à 28°C pendant 72 heures. Ensuite, sécher les algues et les réduire en poudre.



Figure 07 : Préparation de la matière première. (Photo originale)

Comment préparer et conserver la viande vegan :

Pour préparer une viande vegan à base d'algues, il est essentiel de choisir des algues riches en protéines, comme l'Azolla et la Lentille d'eau. Tout d'abord, les algues doivent être soigneusement lavées pour éliminer toute impureté. Ensuite, elles sont séchées et réduites en poudre. Cette poudre est mélangée avec des ingrédients tels que l'eau et des épices pour

obtenir une pâte homogène. La pâte est ensuite façonnée en steaks, boulettes ou saucisses, puis cuite à la poêle ou au four jusqu'à ce qu'elle devienne dorée et croustillante (**Figure 08**), ou bien nous conservons la pâte à l'état cru, afin de préserver les propriétés bioactives et nutritives des algues (**Figure 09 et 10**). Le résultat est une alternative savoureuse et nutritive à la viande traditionnelle, offrant une texture et un goût uniques grâce aux bienfaits des algues.



Figure 08 : Steak vegan à base d'Azolla.
(Photo originale)

Figure 09 : Steak végétal à base de
Lentille d'eau. (Photo originale)



Figure 10: Steak vegan à base d'algues cuit. (photo originale)

6. Conservation de la viande vegan :

Congélation :

Pour une conservation plus longue, la viande vegan peut être congelée. Placez-la dans un sac de congélation ou un contenant hermétique. Elle peut être conservée au congélateur pendant 2 à 3 mois. Pour éviter les brûlures de congélation, enlevez autant d'air que possible du sac avant de le sceller.

Précisions avant congélation :

On fait cuire les steaks avant de les congeler. Cela facilite le réchauffage ultérieur et préserve la texture.

7. Analyses physicochimiques :

Détermination de la teneur en matière sèche (AFNOR, 1985) :

Principe

La teneur en matière sèche est déterminée en pesant un échantillon avant et après la dessiccation dans une étuve à 105°C pendant 24 heures. (**Figure 06**).

Protocole

1. Pesée initiale : Les creusets vides sont d'abord pesés. Ensuite, 5 g de chaque échantillon (Azolla et la Lentille d'eau) sont pesés à l'aide d'une balance de précision.
2. Déshydratation : Les échantillons sont placés dans une étuve à 105°C pendant 24 heures. À la fin de cette période, les creusets sont refroidis dans un dessiccateur pendant 20 minutes.
3. Pesée finale : La matière sèche restante est ensuite pesée, et la quantité d'eau évaporée est déterminée par différence avec la masse initiale.

La teneur en matière sèche (MS) de l'échantillon est calculée en faisant la différence entre le poids initial (poids frais) et le poids après dessiccation (poids sec), selon la formule suivante :

$$\text{Matière sèche (g)} = \text{Poids du creuset avec l'échantillon} - \text{poids du creuset vide}$$

Calcul de la matière sèche en % :

$$\text{Matière sèche (\%)} = (\text{MS(g)}/\text{masse échantillon (g)} \times 100$$



Figure 11 : Détermination de la teneur en matière sèche.

Détermination de la teneur en matière minérale et la teneur en matière organique (AFNOR, 1985) :

La teneur en cendres de l'aliment est déterminée par le résidu obtenu après l'incinération de la matière organique à 550°C dans un four à moufle pendant 2 heures, suivie d'un placement des creusets dans un dessiccateur pendant 20 minutes.

La teneur en matières minérales de l'échantillon est calculée par la relation suivante :

$$\text{Matière minérale (g)} = (\text{Poids du creuset contenant les cendres} - \text{poids du creuset vide})$$

Calcul de la teneur en matière minérale en % :

$$\text{Matière minérale (\%)} = (\text{matière minérale (g)}/\text{M1} - \text{M2}) \times 100$$

Avec :

M1 : Masse totale du creuset contenant la prise d'essai (en gramme).

M2 : Masse totale du creuset et les minéraux bruts (en gramme).

Détermination de la teneur en matière organique :

Le pourcentage de matière organique (MO) est égal au pourcentage de matière sèche (MS) moins le pourcentage de matière minérale (MM).

$$\text{Matière organique (\%)} = 100\% - \% \text{ Matière minérale}$$

Détermination de la teneur en protéine par la méthode de (Lowry, 1951) :**• Principe**

Les protéines réagissent avec le réactif de Folin-Ciocalteu pour former des complexes colorés. L'intensité de cette coloration est proportionnelle à la quantité d'acides aminés aromatiques présents, et elle varie en fonction des différentes protéines. Les densités optiques sont ensuite mesurées à 700 nm.

• Protocole

Un gramme/millilitre (matière sèche/ infusion) d'échantillon est ajouté à 25 ml de l'eau physiologique puis filtré ; ensuite 1 ml de chaque filtrat est complété à volume 100 ml avec de l'eau distillée puis conserver dans des tubes à essai au réfrigérateur le temps de préparer les autres réactifs.

Préparer la solution de BSA (Sérum-Albumine bovine) avec de l'eau distillée. (0,025g de BSA dans 100 ml d'eau distillée).

• Préparation du réactif de Lowry (solution A et B).

La Solution A est constituée d'un mélange de 1g de soude (NaOH) et de 5g de Carbonate de Sodium (Na_2CO_3) ajouter à 250 ml de l'eau distillée et la solution B est un mélange de 0,125g sulfate de cuivre (Cu SO_4) et de 0,25g de tartrate double Sodium Potassium ajouté à 25 ml de l'eau distillée.

• Dosage

Dans chaque tube contenant 1mL d'échantillon à doser, 5ml de réactifs de Lowry ont été ajoutés puis laisser incuber pendant 10 min, par la suite 0,5 ml de Folin-Ciocalteu dilué à moitié ont été ajoutés dans chaque tube puis agités et finalement les tubes sont incubés pendant 30 minutes à l'obscurité au frais.

La lecture se fait au spectrophotomètre avec une longueur d'onde de 700 nm et les résultats sont exprimés en pourcentage grâce à la courbe de la solution de sérum bovine albumine BSA.

- **Expression des résultats**

La teneur en protéines est déterminée par la formule suivante :

$$T_p(g) = \frac{X * 25 * 100}{1}$$

Avec :

T_p : Teneur en protéines (g).

C : Teneur en protéines pour un gramme d'échantillons (25)

X : Concentration obtenue de la courbe de la BSA

P : Prise d'essai (g)

Détermination le taux des lipides totaux par la méthode de (Soxhlet, 1879) :

- **Principe**

L'extraction par Soxhlet est une méthode simple et efficace permettant de répéter indéfiniment le cycle d'extraction avec du solvant frais jusqu'à l'épuisement complet du soluté dans la matière première. Le schéma de l'appareil Soxhlet montre qu'il est composé d'un corps en verre contenant une cartouche en papier-filtre épais (une matière perméable au solvant), d'un tube siphon et d'un tube de distillation. Dans l'installation, l'extracteur est placé sur un ballon contenant le solvant d'extraction. Le ballon est chauffé pour faire bouillir son contenu. La cartouche contenant le solide à extraire est insérée dans l'extracteur, au-dessus duquel est placé un réfrigérant qui condense les vapeurs du solvant. L'extraction se poursuit jusqu'à l'épuisement de la matière solide dans la cartouche. La séparation du solvant de l'extrait est réalisée à l'aide d'un rotavapeur, où une évaporation sous vide est effectuée en utilisant une pompe à vide avec une vanne de contrôle. Pendant l'évaporation, le ballon est mis en rotation et plongé dans un bain liquide chauffé. L'appareil est équipé d'un réfrigérant avec un ballon collecteur de condensat. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grande et renouvelée, permettant ainsi une évaporation rapide. Alternativement, d'autres méthodes

peuvent être utilisées, telles que la récupération du solvant (éther de pétrole) et l'étuvage des ballons.

- **Protocole**

Brièvement, de 5g d'échantillon ont été placés dans une cartouche après avoir pesé les ballons vides, puis 400ml Benzène son mit dans chaque ballon avec la vésication d'installation d'eau et ensuite l'appareil d'extraction a été allumé pour une extraction d'une durée de 4h. À la fin de l'extraction, les cartouches ont été enlevées et le solvant brut a été récupéré, puis les ballons ont de nouveau été pesés.

- **Expression des résultats**

Le pourcentage la matière grasse extraite est exprimé selon la formule suivante :

$$\%MG = \frac{p1 - p2}{M} * 100$$

Avec :

MG : Matière grasse (%)

P1 : Poids du ballon après extraction (g).

P2 : Poids du ballon avant extraction (g).

M : Masse de prise d'essai (g).

Détermination de la teneur en chlorophylle (Floriane *et al.*, 2014) :

- **Principe**

L'extraction de la chlorophylle des végétaux permet d'obtenir une solution chlorophyllienne qui va servir à réaliser la suite des manipulations du protocole. Les feuilles de la plante sont mises en contact avec de l'éthanol absolu qui va les léser mécaniquement et va détruire les membranes des cellules dans le but d'en extraire les organites (les lipides et les lipoprotéines sont solubles dans l'éthanol). Le broyat ainsi obtenu est filtré et la chlorophylle est extraite grâce au dichlorométhane, solvant d'extraction. Après une seconde filtration, le filtrat est chauffé afin de garder uniquement les pigments de la chlorophylle.

Protocole

Pour l'analyse de la teneur en chlorophylle des échantillons d'*Azolla* et de la Lentille d'eau (*Lemna minor*), suivez les étapes suivantes :

1. **Pesée des échantillons** : Prélever 3 g de chaque échantillon et les placer dans des creusets.
2. **Broyage des échantillons** : Transférer les échantillons dans des mortiers et les broyer afin de libérer les pigments de chlorophylle avec de l'éthanol.
3. **Filtration** : Filtrer la solution obtenue à travers du papier filtre pour éliminer les résidus cellulaires et obtenir un extrait pur de chlorophylle.
4. **Mesure de l'absorbance** : Utiliser un spectrophotomètre pour mesurer l'absorbance des solutions aux longueurs d'onde de 663 nm (A663) et 750 nm (A750). Ces longueurs d'onde permettent de quantifier la concentration de chlorophylle dans les échantillons.

8. Expression des résultats

La teneur en chlorophylle **A** est déterminée par la formule suivante :

$$\text{Chlorophylle A} : 12,21 * A_{663} - 2,81 * A_{750}.$$

La teneur en chlorophylle **B** est déterminée par la formule suivante :

$$\text{Chlorophylle B} : 20,13 * A_{663} - 5,03 * A_{750}.$$



Figure 12: Préparation des extraits de chlorophylle.

9. Analyse statistique

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel StatBox. Tous les analyses et dosages des échantillons ont été effectués en triplicata, dans un ordre aléatoire, afin de minimiser les biais expérimentaux. Les résultats sont exprimés sous forme de moyen \pm écart-type. Les différences entre les échantillons ont été considérées comme statistiquement significatives lorsque la valeur de p était inférieure à 0,05 ($p < 0,05$), indiquant ainsi un niveau de confiance élevé dans les résultats obtenus.

10. Analyses microbiologiques du steak vegan :

Les analyses microbiologiques du steak végétal constituent une série de tests de laboratoire visant à détecter et quantifier les micro-organismes présents dans le produit. Ces tests permettent de vérifier la sécurité alimentaire et de garantir la qualité du produit fini. L'objectif principal de ces analyses est d'assurer que le produit est exempt de contaminants microbiens nocifs, qu'il est sûr pour la consommation, et qu'il respecte les normes en vigueur en matière de qualité et de sécurité alimentaires. Ces analyses incluent la détection de bactéries pathogènes, de levures et de moisissures, ainsi que l'évaluation de la charge microbienne totale, conformément aux exigences réglementaires.

11. Analyse microbiologique dans cette étude :

Les germes recherchés dans cette étude sont les suivants :

- *Escherichia coli*.
- *Coliformes totaux*.
- *Staphylocoques*.
- *Salmonelles*.

Protocole d'analyse

Préparation de la solution mère

Pour préparer la solution mère destinée aux analyses microbiologiques, 25 g de l'échantillon sont pesés de manière aseptique à l'aide d'une balance de précision. Ensuite, 225 ml d'eau peptone tamponnée (EPT) sont ajoutés à l'échantillon pour assurer une dilution adéquate. Le mélange est ensuite homogénéisé pendant 5 minutes afin de garantir une répartition uniforme des micro-organismes présents. La solution obtenue est transférée dans un sachet Stomacher stérile, en respectant des conditions strictes d'asepsie pour éviter toute contamination externe durant la manipulation (**Figure 08**).

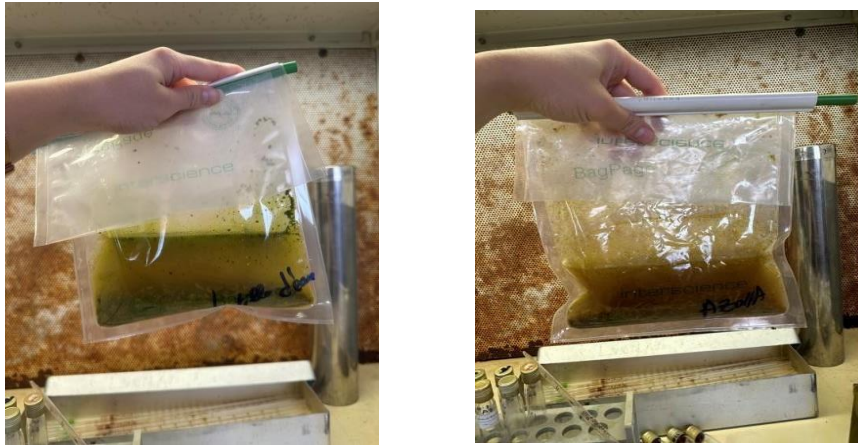


Figure 13 : Préparation de la solution mère.

Préparation des dilutions

À partir de la solution mère, des dilutions successives sont effectuées afin de faciliter le dénombrement des micro-organismes. Ces dilutions en série sont réalisées en introduisant 1 ml de la solution mère à l'aide d'une pipette stérile dans un tube à essai contenant 9 ml d'eau peptone tamponnée (EPT), permettant ainsi une dilution au 1/10.

Le processus de dilution suit les étapes suivantes :

- 1 ml de la solution 10^{-1} est ajouté à 9 ml d'EPT pour obtenir une dilution 10^{-2} .
- 1 ml de la solution 10^{-2} est ensuite transféré dans 9 ml d'EPT pour obtenir une dilution 10^{-3} .
- 1 ml de la solution 10^{-3} est introduit dans 9 ml d'EPT pour obtenir une dilution 10^{-4} .

Chaque solution est homogénéisée à l'aide d'un vortex pour assurer une répartition uniforme des micro-organismes, garantissant ainsi que les échantillons sont prêts pour les étapes d'analyse suivantes.

12. Dénombrement d'*Escherichia Coli*

Escherichia coli est une bactérie couramment présente dans le tube digestif, où elle constitue 80 % de la flore intestinale aérobie. Cependant, elle peut devenir pathogène. Sa présence dans un aliment prêt à consommer est un indicateur de contamination fécale, ce qui rend l'aliment potentiellement dangereux pour la consommation humaine (Balde, 2002). L'inhibition des micro-organismes Gram positifs est attribuée à la présence de sels biliaires et de cristal violet. Ce colorant bloque principalement la croissance des entérocoques et des staphylocoques. La

gélose Mac Conkey est donc un milieu sélectif utilisé pour isoler les entérobactéries (Delarras, 2007).

À partir de la solution mère et les dilutions décimales, on prend aseptiquement 0.1 ml à l'aide d'une pipette Pasteur, et on ensemence par stries les boîtes de Pétri (contenant le milieu Mac Conkey coulé et gélifié). Ensuite on incube à 37°C pendant 24 à 48 heures (Delarras, 2007).

13. Dénombrement des coliformes totaux

Le dénombrement des coliformes totaux par comptage des colonies obtenues à 37°C, selon la Norme NF V 08-017, se fait en utilisant un milieu gélose sélectif, le VRBL. Les échantillons sont dilués jusqu'à 10^{-4} . On dépose aseptiquement 1 ml de la solution mère et des dilutions décimales dans des boîtes de Pétri stériles, préalablement préparées et numérotées. On ajoute ensuite environ 15 ml de gélose VRBL fondue. Le contenu est homogénéisé en effectuant des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de «8» sur une surface fraîche et horizontale, afin de bien mélanger l'inoculum à la gélose.

14. Dénombrement des Staphylocoques

Le dénombrement des staphylocoques est effectué par ensemencement en surface sur un milieu sélectif, le Baird-Parker. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures. À partir de la solution mère ou des dilutions décimales, 0,1 ml est aseptiquement déposé dans des boîtes de Pétri contenant le milieu solide. L'inoculum est ensuite étalé en surface à l'aide d'un étalé, puis les boîtes sont incubées à 37°C pendant 48 heures. (Dennai *et al.*, 2001).

15. Dénombrement de salmonella

La recherche des Salmonelles est effectuée en trois étapes successives :

Pré enrichissement, enrichissement et isolement (Guiraud et Rosec, 2004).

- **Préenrichissement**

Il est conçu pour revitaliser les cellules afin de faciliter leur culture dans les bouillons d'enrichissement. La solution mère est incubée à 37°C pendant 24 heures. (Dennai *et al.*, 2001).

- **Enrichissement**

Aseptiquement, transférer 0,1 ml de la solution de préenrichissement dans des tubes contenant 10 ml de bouillon Rapp port. Après homogénéisation, les tubes sont incubés à 37°C pendant 18 à 24 heures. (**Guiraud et Rosec**, 2004).

- **Isolement**

L'isolement est effectué par ensemencement en surface en utilisant la méthode des stries sur un milieu sélectif solide SS, à partir du bouillon d'enrichissement. Les boîtes sont ensuite incubées à 37°C pendant 18 à 24 heures, et parfois jusqu'à 48 heures en l'absence de colonies caractéristiques (**Guiraud et Galzy**, 1980).

Conclusion générale

Conclusion générale

Un steak vegan à base d'algues représente une alternative prometteuse aux steaks traditionnels, en utilisant les algues comme ingrédient principal. Grâce à leur richesse en nutriments, les algues offrent une saveur distincte et une texture unique, tout en étant associées à d'autres protéines végétales pour reproduire la consistance et l'apparence de la viande. Leur profil nutritionnel élevé, incluant des vitamines, des minéraux et des acides gras essentiels, fait des steaks à base d'algues une option attrayante pour les consommateurs soucieux de leur santé et de l'environnement, en raison de leur faible empreinte écologique.

Les résultats de notre étude, portant sur les propriétés physicochimiques et microbiologiques de deux types de steaks végans à base d'algues (Azolla et lentille d'eau) conservés par congélation, ont révélé des différences significatives entre les deux espèces. D'une part, l'Azolla a montré une supériorité nutritionnelle marquée, notamment en termes de teneur en protéines et en chlorophylle, ce qui suggère qu'elle pourrait avoir un potentiel plus élevé pour des applications alimentaires à forte valeur ajoutée. En revanche, les résultats obtenus pour la lentille d'eau étaient incomplets et ne permettaient pas de tirer des conclusions exploitables sur son potentiel en tant qu'ingrédient principal.

Sur le plan microbiologique, les analyses de l'Azolla ont montré la présence de *coliformes totaux* et *Escherichia coli* à des niveaux conformes aux normes ISO, ce qui indique que ce produit répond aux critères de sécurité alimentaire. Par ailleurs, aucune trace de *Salmonelle* ou de *staphylocoques* n'a été détectée dans les deux types de steaks, attestant ainsi de leur qualité microbiologique et de leur innocuité pour la consommation humaine.

Ces résultats confirment le potentiel des algues, et plus particulièrement de l'Azolla, dans la conception de steaks végans à la fois nutritifs et sûrs pour les consommateurs. L'absence de contaminations majeures et le profil nutritionnel élevé de ces produits renforcent leur attractivité sur le marché des substituts de viande. Grâce aux avancées technologiques en matière de transformation alimentaire, ces steaks offrent désormais une gamme de saveurs et de textures innovantes, tout en imitant de manière convaincante le goût et la texture de la viande traditionnelle.

Le steak vegan à base d'algues constitue une alternative durable et saine qui répond aux préoccupations croissantes liées à la santé, à l'environnement et au bien-être animal. Son adoption croissante dans les régimes alimentaires modernes enrichit les choix disponibles

Conclusion générale

pour les consommateurs à la recherche d'options plus respectueuses de l'environnement, tout en offrant une expérience culinaire satisfaisante pour les amateurs de viande.

BMC et modèle économique

Fiche technique du projet

- + **Nom et prénom :** BOUGUELMOUNA Soulef et LAKRID Hafsa
- + **Nom commercial de projet :** **Greenmeat**
- + **Matière première :** les algues
- + **Type d'entreprise :** Fabrication des steaks végétaux à base d'algues
- + **Numéro de téléphone :** 0560919263 / 0780571746
- + **E-mail :** bouguelmounasoulef@gmail.com hafsalkr181@gmail.com
- + **Commune d'activité :** wilaya de Mostaganem
- + **Nature de projet :** Vente de marchandises



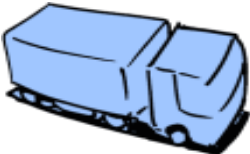








Problématique :

Dans un monde où la demande pour des alternatives alimentaires durables et saines ne cesse de croître, notre projet de steak vegan se distingue comme une solution innovante et nécessaire. Entièrement à base d'algues, ce steak vise à réduire l'impact environnemental en limitant l'empreinte carbone et la consommation des ressources naturelles, tout en préservant les écosystèmes. Il répond également aux préoccupations de santé publique en offrant une option plus saine, riche en protéines végétales, sans cholestérol ni graisses saturées, tout en respectant le bien-être animal. Conçu pour être accessible, abordable, et attractif pour tous, notre steak vegan recrée une expérience culinaire savoureuse, même pour les amateurs de viande, contribuant ainsi à un avenir plus éthique et durable.

Greenmeat ne se limite pas à suivre une tendance alimentaire ; il représente une démarche audacieuse pour relever les grands défis mondiaux liés à l'alimentation. En optant pour notre steak vegan, les consommateurs contribuent activement à la création d'un avenir plus sain, plus respectueux de l'environnement et plus éthique. De plus, la viande vegan est souvent moins coûteuse que la viande traditionnelle, ce qui la rend plus accessible aux personnes soucieuses de leur budget.

Business Model Canvas :

Élément	Détails
<p>Propositions de valeur</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Alternative végétale nutritive et écologique. - Produit riche en protéines, vitamines, minéraux, chlorophylle et acides gras essentiels. - Imite la texture et le goût de la viande. - Faible empreinte carbone. - Conforme aux normes ISO en termes de sécurité alimentaire.
<p>Segments de clients</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Consommateurs soucieux de l'environnement et du bien-être animal. - Végétariens, végétans, flexitariens. - Amateurs de super-aliments (algues). - Industries alimentaires cherchant des produits innovants. - Restaurateurs cherchant à diversifier leurs menus avec des options végétans.
<p>Canaux de distribution</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Vente directe en ligne via site web et e-commerce. - Distribution dans grandes surfaces et magasins spécialisés (bio, vegan). - Partenariats avec restaurants et fast-foods. - Participation à des salons et foires alimentaires pour promotion et partenariats.
<p>Relations avec clients</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Interaction directe via réseaux sociaux et service client en ligne. - Programme de fidélisation via abonnements. - Information et sensibilisation des consommateurs sur les bienfaits nutritionnels et environnementaux du produit.
<p>Flux de revenus</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Vente de steaks végétans en magasins et en ligne. - Abonnements pour livraisons régulières (mensuelles, hebdomadaires). - Licensing ou co-branding avec d'autres marques. - Vente en gros aux restaurants et distributeurs alimentaires.
<p>Resources clés</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Cultures d'Azolla et de lentille d'eau en conditions contrôlées (aquariums et bassins). - Technologies de transformation alimentaire (séchage, packaging). - Laboratoire pour contrôle qualité (analyses physico-chimiques et microbiologiques). - Personnel spécialisé en biotechnologie et transformation alimentaire. - Partenariats avec producteurs d'algues et fournisseurs.

<p>Activités clés</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Recherche et développement sur les propriétés nutritionnelles et texturales du produit. - Gestion des cultures d'algues en bassins et aquariums. - Transformation, séchage, et conditionnement du produit. - Contrôle qualité microbiologique et physicochimique. - Campagnes de marketing et sensibilisation des consommateurs.
<p>Partenaires clés</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Producteurs d'algues (fermes aquatiques). - Fournisseurs de fertilisants (NPK) et équipements de culture. - Laboratoires d'analyse pour la certification et conformité aux normes. - Distributeurs alimentaires (grandes surfaces, magasins spécialisés). - Restaurants et chaînes de restauration rapide pour distribution directe. - Instituts de recherche pour collaborations sur innovation.
<p>Structure des coûts</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts de production des algues (bassins, aquariums, entretien). - Coûts de transformation (technologie, équipement, packaging). - Coûts de distribution et logistique (transport, stockage). - R&D pour l'amélioration continue. - Conformité aux normes et certifications ISO. - Coûts de marketing et promotion du produit.

Références bibliographiques

Abbaspour, N., Sanchez-Sabate, R., & Sabaté, J. (2023). Options non animales pour les aliments d'origine animale - vers une terminologie systématique. *Frontiers in Nutrition*.

Afnor Éditions. (1980). *Microbiologie alimentaire : Directives générales pour le dénombrement des coliformes fécaux et d'Escherichia coli*.

AFNOR. (1985). *Aliments des animaux, méthodes d'analyses françaises et communautaires* (2e éd., 200 p.). AFNOR.

AFNOR. (1985). *Aliments des animaux, méthodes d'analyses françaises et communautaires* (2e éd., 200 p.). AFNOR.

Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). (n.d.). *Les lipides*. ANSES.

Alalade, O. A., & Iyayi, E. A. (2006). Chemical composition and the feeding value of Azolla (*Azolla pinnata*) meal for egg-type chicks. *International Journal of Poultry Science*, 5(2), 137-141.

Allinson, I. B., Ekunseitan, D. A., Ayoola, A. A., Ogunade, I. M., & Njoku, C. P. (2013). Effect of herbal supplement on growth performance and faecal egg counts of cockerels. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 3(1), 68-73.

ANSES. (2018). *L'Anses actualise les repères de consommations alimentaires pour la population française*. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Consulté le 12 mars 2018.

Balde, J. (2002). *Étude de la qualité microbiologique des repas servis à l'hôpital principal de Dakar (HPD)* (Thèse de doctorat en médecine vétérinaire, Université Cheikh Anta Diop de Dakar).

Baroud, C., Bekkouche, E. (2022). *Étude de la gestion de la chaîne logistique dans les entreprises de production* (Mémoire de maîtrise, Université de Tissemsilt).

- Bedin, E., Torricelli, C., Gigliano, S., De Leo, R., & Pulvirenti, A. (2018). Vegan foods: Mimic meat products in the Italian market. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 13, 1-9.
- Bernard-Pellet, J. (2016, février). *Docteur. Manger*. (Interviewé par M. C. d'Encausse). France 5. Paris, France.
- Boonyapookana, B., Upatham, E. S., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Singhakaew, S. (2002). Phytoaccumulation and Phytotoxicity of Cadmium and Chromium in Duckweed *Wolffia globosa*. *International Journal of Phytoremediation*, 4(2), 87-100.
- Brouwer, P., Schluempmann, H., Nierop, K. G., Elderson, J., Bijl, P. K., van der Meer, I., ... & van der Werf, A. (2018). Growing Azolla to produce sustainable protein feed: the effect of differing species and CO₂ concentrations on biomass productivity and chemical composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(12), 4759-4768.
- Care, F., Burgat, A., & Scotto, P. (2014). *Extraction et séparation de la chlorophylle* [Rapport de stage, BTS Anabiotech]. Auzeville.
- Chergui, A., Duran-Doz, L., Georges, B., & Sibille, L. (2020). *La lentille d'eau comme fertilisante. Projet lentille d'eau*. Master sol-eau-environnement, Université Sorbonne, France. Girod, C. (pp. 1-8).
- Choi, H.-K., & Shaded, M. (2021). Les lentilles d'eau : leur utilisation, leurs métabolites et leur culture.
- Chowdury, K., Nahar, N., & Deb, U. (2020). Les facteurs de croissance impliqués dans la culture de microalgues pour la production de biocarburants : une revue. *Ingénierie informatique de l'eau, de l'énergie et de l'environnement*, 9, 185-215.
- Claessens, S. (2022, 27 août). *C'est quoi le véganisme et quels sont ses avantages et ses inconvénients?* PassionSanté.be.
- Commission européenne. (2018). Production, importation et qualité des viandes consommées au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 124, 12476-12487.
- Cui, W., & Cheng, J. J. (2015). Growing duckweed for biofuel production: a review. *Plant Biology*, 17, 16-23.

Darmaun, D. (2016, août 24). *Métabolisme des protéines in vivo chez l'homme*. Wwwem-Premiumcomdatatraitesgn10-69562.

Deb, M., Shahriar, M., Bhowmik, J., & Chowdury, M. K. H. (2017). *Effect of temperature related to irradiance on the growth of microalgae in a tubular photobioreactor for cleaner energy*. *American Journal of Computational Mathematics*, 7, 371-384.

Delarras, C. (2007). *Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyses ou de contrôle sanitaire*. Lavoisier: Tec & Doc.

Deloeuvre, G. (2018). [Title of the Book]. Kobo. ISBN: 1230002520247.

Demirors Saygideger, S., Keser, G., & Dogan, M. (2013). Effects of Lead on Chlorophyll Content, Total Nitrogen, and Antioxidant Enzyme Activities in Duckweed (*Lemna minor*). *International Journal of Agriculture & Biology*, 15(1).

Dennaï, N., Kharrati, B., & El yachioui, M. (2001). *Appréciation de la qualité microbiologique des carcasses de bovins fraîchement abattus*. Université Constantine, Département de Biologie.

Dhar, S. K., & Gupta, M. (2024). The impact of financial development on economic growth: A panel data analysis. *International Journal of Applied and Physical Sciences*, 4(1), 1-15.

Dourmad, J.-Y., Salaün, Y., Lebret, B., & Riquet, J. (2018). Diversité des productions porcines en France. *Innovations Agronomiques*, 2018.

Élie, F. (2022, December). Notions sur les vitamines. Institution gouvernementale française.

Feedipedia. (2019). *Animal feed resources information system* - INRAE, CIRAD, AFZ, and FAO. Feedipedia.

Feillet, P. (2022). Insectes, viandes de culture, foie gras cellulaire, algues, laits artificiels... à notre menu demain? Cauchemar ou espoir d'un nouveau monde d'où la faim aura disparu. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Séance publique du 7 novembre 2022.

Fernández-Ginés, J. M., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., & Pérez-Alvarez, J. A. (2005). Meat products as functional foods: A review. *Journal of food science*, 70(2), R37-R43.

- Ghalib, A. M. A. (2010). The effect of thyme and cinnamon on microbial balance in the gastrointestinal tract of broiler chicks. *International Journal of Poultry Science*, 9(5), 495-498.
- Girod Christophe. Focus sur les lentilles d'eau. In : Le Journal de botanique.2017 ; n°80, Décembre. pp. 7-10.
- Girod, C. (2017). Focus sur les lentilles d'eau. *Le Journal de Botanique*, 80, 7-10.
- Gonzalez, A., Ghaffari, M., & Olsson, S. (2019). *Title of the article. Journal Name, Volume(Issue), page range.*
- Guiraud, J., & Galzy, P. (1980). *L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires.* L'Usine Nouvelle.
- Guiraud, J., & Rosec, J. (2004). *Pratique des normes en microbiologie alimentaire* (p. 110). AFNOR.
- Gupta, S. K., Chandra, R., Dey, D., Mondal, G., & Shinde, K. P. (2018). Study of chemical composition and mineral content of sun dried *Azolla pinnata*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 1214-1216.
- Hocquette, J.-F. (2016). La viande in vitro est-elle la solution d'avenir? *Sciences de la Viande*, 120, 167-176.
- Hubert, B., Charlotte, C., Jean-Paul, C., Antoine, S., & Olivier, B. (2020). *Potentiel des microalgues. Dans Chimie verte et industries agroalimentaires - Vers une bioéconomie durable.* Lavoisier. HAL-02421830.
- Huisman, J., Joker, R., Zonneveld, C., & Weissing, F. (2018). *Cyanobacterial blooms. Nature Reviews Microbiology*, 16(8), 471-483.
- Ismail, I., Hwang, Y.-H., & Joo, S.-T. (2020). L'analogie de la viande comme aliment du futur : une revue. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(2), 111-120.
- Jewell, M. D. (2023). *Experimental eco-evolutionary dynamics in floating aquatic plants* (Doctoral dissertation, McGill University). ProQuest Dissertations & Theses Global.
- Kale, P., Mishra, A., & Annapure, U. S. (2022). Development of vegan meat flavour: A review on sources and techniques. *Future Foods*, 5, 100149.

Kaur, M., Sahoo, P. C., Kumar, M., Sachdeva, S., & Puri, S. K. (2021). Effet des nanoparticules métalliques sur le changement de communauté microbienne et le métabolisme syntrophique lors de la digestion anaérobie d'*Azolla microphylla*. *Journal de génie chimique environnemental*, 9(5).

Khettab, Z., & Toumi, F. (2019). *Contribution à la production de microalgues riches en lipides isolées de la région d'Oued Righ* (Mémoire de fin d'études, Biochimie Appliquée, Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued).

Klous, G., Huss, A., Heederik, D. J., & Coutinho, R. A. (2016). Human–livestock contacts and their relationship to transmission of zoonotic pathogens: A systematic review of literature. *One Health*, 2, 65-76.

Körner, S., Lyatuu, G. B., & Vermaat, J. E. (1998). The influence of *Lemna gibba* L. on the degradation of organic material in duckweed-covered domestic wastewater. *Water Research*, 32(10), 3092-3098.

Kreider, A. N., Fernandez Pulido, C. R., Bruns, M. A., & Brennan, R. A. (2019). Duckweed as an agricultural amendment: nitrogen mineralization, leaching, and sorghum uptake. *Journal of Environmental Quality*, 48(2), 469-475.

Kumar, G., & Chander, H. (2017). A study on the potential of *Azolla pinnata* as livestock feed supplement for climate change adaptation and mitigation. *Asian Journal of Advanced Basic Sciences*, 5(2), 65-68. ISSN (Print): 2454-7492, ISSN (Online): 2347-4114.

Kumar, M., Dhuria, R. K., Jain, D., Sharma, T., Nehra, R., & Prajapat, U. K. (2018). A Nutritional Evaluation of *Azolla* (*Azolla pinnata*) as Feed Supplement. *Veterinary Practitioner*, 19(1).

Kumar, S., Mahadevappa, B., Swamy, M., & Kiran, G. R. (2018). Study of chemical composition and mineral content of sun-dried *Azolla pinnata*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(6), 1905-1908.

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1), 256-275.

Mariotti, F., & Gardner, C. D. (2019). Dietary protein and amino acids in vegetarian diets—A review. *Nutrients*, 11(11), 2661.

Mathieu, S., & Dorard, G. (2016). Végétarisme, végétalisme, véganisme : aspects motivationnels et psychologiques associés à l'alimentation sélective. *La Presse Médicale*, 45(9), 726-733.

Mohammad Javad Z., Omidvar, F., Fatemeh Paykan H., Javad K., Eleni K., Michael K., & Ehsan D. (2020). Effect of nitrogen concentration on the growth rate and biochemical composition of the microalga, *Isochrysis galbana*. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(2), 153-158.

Mosa Meat (2019, septembre).

Mosha, S. S. (2018). A Review on Significance of Azolla Meal as a Protein Plant Source in Finfish Culture. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 9(7), 544.

Naser, Y., & Al-Musawi, J. E. Q. (2020). Study of the effect of occultation dietary *Azolla pinnata* in reducing faecal bacterial load in rabbits. *Plant Archives*, 20(2), 7107-7110.

Noor, N. A. S., Syed, J., Dileep, N., Rakesh, K. N., & Prashith Kekuda, T. R. (2014). Antioxidant activity of *Azolla pinnata* and *Azolla rubra*: A comparative study. *Scholars Academic Journal of Biosciences*, 2(10), 719–723.

Organisation mondiale de la Santé. (2015). *Cancérogénicité de la consommation de viande rouge et de viande transformée*. Récupéré le 9 octobre 2019.

Paula, M. (2023). *Les microalgues comme alternative de futur en l'alimentation*. [Thèse de fin d'études, Faculté de Pharmacie et Sciences de l'Alimentation, Universitat de Barcelona]. Departament de Nutrició, Ciències de l'Alimentació i Gastronomia.

Planétoscope. (n.d.). Consommation mondiale de viande. consoGlobe. Retrieved September 8, 2024.

Post, M. J. (2012). *Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects*. *Meat Science*, 92(3), 297-301.

Post, M. J. (2012). Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Science*, 92(3), 297-301.

Prache, S., Adamiec, C., & Astruc, T., et al. (2023). La qualité des aliments d'origine animale : Enseignements d'une expertise scientifique collective. *INRAE Productions Animales*, 36(1).

Purdy, C. (2019, 20 février). *Why we don't yet know if cell-cultured meat will actually fight climate change.*

Rahagarison, N. (2005). *Etude bibliographique de l'Azolla ou la « ramilamina » plante.*

Raikova, S., Knowles, T. D. J., Allen, M. J., & Chuck, C. J. (2019). Co-liquéfaction des macroalgues avec les polluants plastiques marins courants. *ACS Chimie et Ingénierie Durables*, 7(7), 1–7.

Rajesh, 2020. Production of Azolla as livestock feed supplement in India. *Pashudhan praharee. Indian Dairy & Poultry industry*.43p.

Roy, D. C., Pakhira, M. C., & Roy, M. (2016). Estimation of Amino Acids, Minerals and Other Chemical Compositions of Azolla. *Advances in Life Sciences*, 5(7), 2692-2696.

Saidane, O., Courties, A., & Sellam, J. (2020). Les fibres alimentaires contre l'arthrose: Quels éléments de preuve? *Revue du Rhumatisme*, 87(1), 4-7.

Saruga, K., & Sivashanthini, K. (2022). Evaluation of culture conditions and chemical composition of Azolla pinnata. *Proceedings of the 10th YSF Symposium.*

Sebastian, A., Deepa, P., & Narasimha Vara, M. (2021). *Azolla farming for sustainable environmental remediation.* In M. Narasimha Vara Prasad (Ed.), *Handbook of assisted and amendment-enhanced sustainable remediation technology* (1st ed., pp. 517-532). John Wiley & Sons Ltd.

Sharma, A., Gulati, I., & Kumar, A. (2023). Azolla - "Un patrimoine abordable de l'agriculture biologique du futur." Document de conférence présenté à une conférence, Université Mondiale DBS, École de commerce Doon, Université Shri Guru Ram Rai.

Sharma, S., Thind, S. S., & Kaur, A. (2015). *In vitro meat production system: Why and how?* *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 7599-7607.

Shengnan, L., Xue, L., & Shih-Hsin, H. (2022). Comment favoriser la capture du carbone par l'évaluation de la photosynthèse des microalgues ? *Separation and Purification Technology*, 291, 120897.

Shuhei, O., Mai, Y., Tomokazu, Y., Tsuyoshi, T., Aiko, H., Maman, K., Kenshiro, O., Masahira, H., Katerina, B., Vilém, Z., & Shigeyuki, K. (2016). Deciphering the relationship

among phosphate dynamics, electron-dense body and lipid accumulation in the green alga *Parachlorella kessleri*. *Scientific Reports*, 6(1), 25731.

Silva, A. (2022, January 28). Véganisme: Les avantages et les inconvénients. Zumub Blog.

Singh, Y., & Bisoyi, R. N. (2015). Advancements in the utilization of Azolla-Anabaena system in relation to sustainable agricultural practices. ResearchGate.

Soxhlet, F. (1879). *Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes*. *Journal polytechnique de Dingers*, 232, 461-465.

Stephens, N., Di Silvio, L., Dunsford, I., Ellis, M., Glencross, A., & Sexton, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 155-166.

Triggs-Peral, G., Maák, I., Schmid, S., Chudzik, P., Czaczkes, T. J., Witek, M., Casacci, L. P., Sánchez-García, D., Lőrincz, A., Kochanowski, M., & Heinze, J. (2024). Les facteurs de stress abiotiques urbains entraînent des changements dans l'activité de recherche de nourriture et la croissance de la colonie de la fourmi noire des jardins *Lasius niger*. *La science de l'environnement total*, 915, 170157.

Tuomisto, H. L. (2019). The eco-friendly burger: Could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products? *EMBO Reports*, 20(1), e47395.

Vallikkadan, M. S., Dhanapal, L., Dutta, S., Sivakamasundari, S. K., Moses, J. A., & Anandharamkrishnan, C. (2023). Meat alternatives: Evolution, structuring techniques, trends, and challenges. *Food Engineering Reviews*, 15(2), 329-359.

Verma, G., Prakriti, Kumar, A., & Babu, S. (2022). Conséquences et perspectives d'avenir de l'azolla comme intrant biologique à faible coût dans l'agriculture.

Wolk, A. (2017). Potential health hazards of eating red meat (Review). *Journal of Internal Medicine*, 281(1), 106–122. Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden.

Xu, J., Zhao, H., Stomp, A. M., & Cheng, J. J. (2012). The production of duckweed as a source of biofuels. *Biofuels*, 3(5), 589-601.

Yaakob, M. A., Mohamed, R. M. S., Al-Gheethi, A., Gokare, R. A., & Ambati, R. R. (2021). Influence de l'azote et du phosphore sur la croissance des microalgues, la biomasse, la production de lipides et d'acides gras: Un aperçu. *Cellules*, 10(2), 393.

Yadav, R. K., Abraham, G., Singh, Y. V., & Singh, P. (2015). *Advancements in the utilization of Azolla-Anabaena system in relation to sustainable agricultural practices*. **Journal of Soil and Water Conservation**, 14(1), 1-9.

Yang, F. F., Xiang, W., Li, T., & Long, L. (2018). Transcriptome analysis for phosphorus starvation-induced lipid accumulation in *Scenedesmus* sp. *Scientific Reports*, 8, 1–11.

Yodsuwan, N., Shigeki, S., & Sarote, S. (2017). Effect of nitrogen concentration on growth, lipid production and fatty acid profiles of the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *Agriculture and Natural Resources*, 51(3), 190-197.