

Caractérisation de l'algue rouge *Gelidium sesquipedale* exploitée sur la côte basque

I) Contexte du projet

L'étude décrite ci-après fait partie d'un large projet émanant des exploitants d'algue rouge du port de Ciboure-Saint Jean de Luz visant à développer une filière locale de valorisation de la macroalgue rouge *Gelidium sesquipedale* pêchée sur la côte Basque de Guéthary à Hendaye lors de la période hivernale (septembre-janvier).

Aujourd'hui, alors que l'algue rouge offre des débouchés commerciaux variés à forte valeur ajoutée (ses biomolécules bioactives et polymères sont utilisés dans de nombreux domaines d'application comme la cosmétique, la biotechnologie, l'alimentation...), la commercialisation de cette algue ramassée par les pêcheurs basques dépend fortement de la versatilité et du monopole des acheteurs espagnols. Le secteur des algues marines est très peu développé au Pays Basque et repose exclusivement sur l'exportation de la matière brute (Algue humide) vers l'Espagne pour la production d'agar-agar. L'absence de connaissance sur la qualité et la teneur en agar de l'algue rouge locale ne permet pas aux producteurs de positionner leur produit par rapport aux autres produits mondiaux. Cette situation pénalise les producteurs qui n'ont pas de visibilité sur les prix et peu d'arguments pour les négocier. De plus, lorsque la demande des acheteurs espagnols est satisfaite, la commercialisation de l'algue rouge s'arrête et la saison autorisée de ramassage est de ce fait écourtée. En maîtrisant mieux la teneur en agar et en valorisant mieux le produit, d'autres acheteurs potentiels pourraient se positionner sur le marché. Il s'agit donc de caractériser la teneur en agar-agar de l'algue rouge de la côte basque en prenant en compte la variabilité temporelle éventuelle au cours de la période de récolte.

De plus, bien que la valorisation industrielle actuelle de *Gelidium sesquipedale* ne soit presque exclusivement tournée vers la production d'agar-agar, plusieurs études précédentes ont pu montrer que cette macroalgue contenait également d'autres composés d'intérêt tels que d'autres biopolymères (cellulose, protéines), des molécules potentiellement actives (acides aminés analogues de la mycosporine, acides phénoliques...) et des minéraux [1]. Ces composés pourraient potentiellement trouver des voies de valorisation dans des domaines aussi variés que l'alimentaire, la cosmétique, la nutraceutique ou la pharmaceutique. Par exemple, on sait qu'aujourd'hui, **l'extraction d'agar génère une quantité importante de déchets organiques**. Les déchets de *Gelidium sesquipedale* émanant de la production d'agar sont **riches en potassium (42,3 %)** et en **matière organique (38,4 %)**. Il reste notamment après extraction de l'agar une quantité non négligeable de **protéines** avec une composition similaire en acides aminés à celle de l'algue de départ. Traditionnellement, les algues épaves ont été utilisées en tant que fertilisant, et les déchets de production d'agar sont voués majoritairement à ce type d'usage. **Il serait cependant envisageable de développer des produits secondaires à haute valeur ajoutée en utilisant les sous-produits et déchets de la production d'agar à partir de *Gelidium sesquipedale*, plus performants que ceux utilisés aujourd'hui.**

II) Objectifs de l'étude

Le projet dont fait partie cette étude a pour principal objectif de valoriser l'algue rouge *Gelidium sesquipedale* du Pays Basque en créant une filière locale. Pour cela, plusieurs axes de travail ont été mis en place, dont l'axe scientifique en collaboration avec la chaire MANTA de l'UPPA par le recrutement d'un chercheur postdoctoral pour une durée de 2 ans. Les objectifs de l'axe scientifique sont donc les suivants (Figure 1) :

- Caractériser et suivre la qualité et la teneur de différents composés (molécules actives et polymères naturels) de l'algue rouge *Gelidium sesquipedale* du Pays Basque français au cours de la période hivernale de récolte (septembre-janvier). Pour cela, une étude préliminaire est nécessaire afin de déterminer les paramètres d'extraction optimaux adaptés aux molécules présentes dans l'algue. Les prélèvements ont été réalisés sur les années 2019, 2020 et 2021.

- Développer une bio-économie locale autour de l'algue. Pour cela, le procédé le plus durable consiste à valoriser l'ensemble des composés en suivant un concept de bioraffinerie. Il s'agit ainsi de développer un procédé d'extraction séquentiel des composés d'intérêt par des méthodes vertes ouvrant ainsi la voie à de nouvelles alternatives attrayantes pour répondre à la demande croissante du marché en composés bioactifs naturels d'intérêt dans les domaines alimentaire, cosmétique, santé, biomédical ou pharmaceutique.

Objectif général : Etude de la valorisation de l'algue rouge locale *Gelidium sesquipedale*

Problématiques générales du projet :

- Absence de structuration d'une filière de valorisation locale
- **Absence de connaissance sur les potentialités de la macroalgue**
- Absence de traçabilité de l'algue

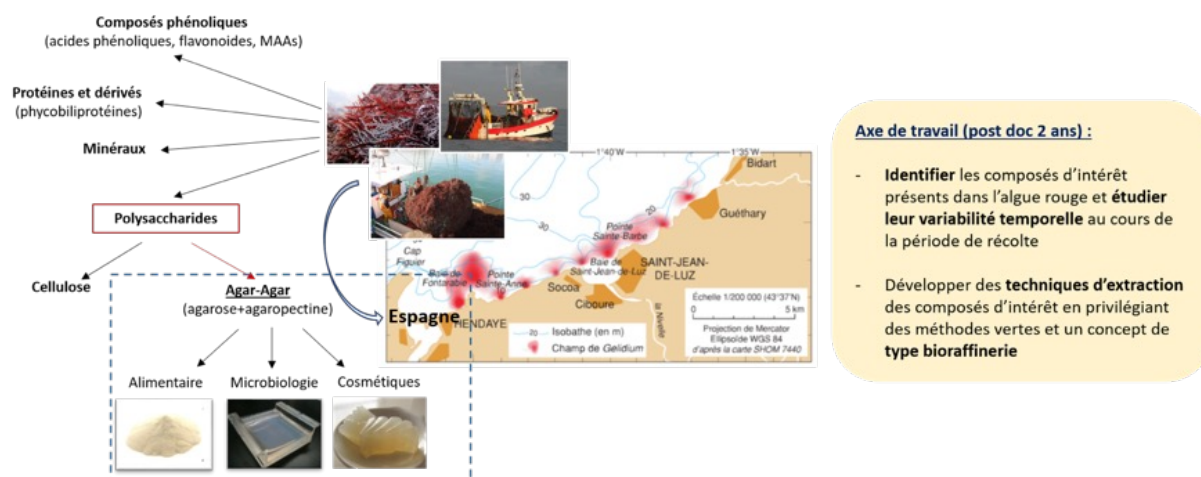


Figure 1 : Objectifs généraux du projet « macroalgues rouges ».

III) Résultats principaux

III.1. Etude préliminaire : évaluation des méthodes d'extraction des composés d'intérêt minoritaires

Lors de la 1^{ère} année de ce projet, une étude préliminaire menée par Natalia Castejon a permis d'identifier les paramètres les plus adaptés pour réaliser l'extraction de différents composés d'intérêt minoritaires présents dans la macroalgue rouge *Gelidium sesquipedale* par des méthodes vertes classiques. Les résultats de cette étude préliminaire ont été valorisés par une publication parue en octobre 2021 dans *Marine Drugs* [2].

Les paramètres identifiés dans cette étude pour l'extraction des composés phénoliques et des acides aminés analogues à la mycosporine ont été utilisés dans la suite de ce projet concernant l'étude de la variation temporelle de la composition biochimique des macroalgues de la côte Basque.



Article

Valorization of the Red Algae *Gelidium sesquipedale* by Extracting a Broad Spectrum of Minor Compounds Using Green Approaches

Natalia Castejón ^{1,2,*}, Maroussia Parailoux ¹, Aleksandra Izdebska ¹, Ryszard Lobinski ¹ and Susana C. M. Fernandes ^{1,2,3,*}

- ¹ Université de Pau et des Pays de l'Adour, IPREM, E2S UPPA, CNRS, 64600 Anglet, France; m.parailoux@univ-pau.fr (M.P.); aizdebska@univ-pau.fr (A.I.); ryszard.lobinski@univ-pau.fr (R.L.)
² MANTA – Marine Materials Research Group, Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, 64600 Anglet, France
³ Department of Chemistry – Angstrom Laboratory, Polymer Chemistry, Uppsala University, Lagerhyddsvagen 1, 75120 Uppsala, Sweden
* Correspondence: natalia.castejon@univie.ac.at (N.C.); susana.fernandes@univ-pau.fr (S.C.M.F.)
† Present address: Department for Food Chemistry and Toxicology, University of Vienna, 1090 Vienna, Austria.

Abstract: Until now, the red algae *Gelidium sesquipedale* has been primarily exploited for agar production, leaving an undervalued biomass. In this work, the use of eco-friendly approaches employing ultrasound-assisted extraction (UAE) and green solvents was investigated to valorize the algal minor compounds. The green methods used herein showed an attractive alternative to efficiently extract a broad spectrum of bioactive compounds in short extraction times (15 to 30 min vs. 8 h of the conventional method). Using the best UAE conditions, red seaweed extracts were characterized in terms of total phenolics (189.3 ± 11.7 mg GAE/100 g dw), flavonoids (310.7 ± 9.7 mg QE/100 g dw), mycosporine-like amino acids (MAAs) (Σ MAAs = 1271 mg/100 g dw), and phycobiliproteins (72.4 ± 0.5 mg/100 g dw). Additionally, produced algal extracts exhibited interesting antioxidant and anti-enzymatic activities for potential applications in medical and/or cosmetic products. Thus, this study provides the basis to reach a superior valorization of algal biomass by using alternative methods to extract biologically active compounds following eco-friendly approaches. Moreover, the strategies developed not only open new possibilities for the commercial use of *Gelidium sesquipedale*, but also for the valorization of different algae species since the techniques established can be easily adapted.

Keywords: ultrasound-assisted extraction; eco-friendly methods; green extraction; macroalgae; bioactive compounds; mycosporine-like amino acids; phycobiliproteins

Citation: Castejón, N.; Parailoux, M.; Izdebska, A.; Lobinski, R.; Fernandes, S.C.M. Valorization of the Red Algae *Gelidium sesquipedale* by Extracting a Broad Spectrum of Minor Compounds Using Green Approaches. *Mar. Drugs* 2021, 19, 574. <https://doi.org/10.3390/md19100574>

Academic Editor: William Lindsey White

Received: 19 September 2021
Accepted: 13 October 2021
Published: 14 October 2021

III.2. Variation temporelle de la composition biochimique de *Gelidium sesquipedale*

Les macroalgues rouges ont été prélevées sur la côte basque pendant 3 années consécutives lors de la période hivernale (2019-2021). Les macromolécules (agar-agar, cellulose et protéines) ainsi que les petites molécules d'intérêt (acides aminés analogues à la mycosporine, composés phénoliques) ont été extraites par méthodes traditionnelles avec les paramètres optimaux identifiés dans l'étude préliminaire. Elles ont ensuite été quantifiées afin d'établir si la composition biochimique de ces algues variait significativement au cours de la période de récolte.

III.2.1. Suivi de la composition en biopolymères :

a) Les polysaccharides agar-agar et cellulose

- *Un polymère majeur dans la valorisation de *Gelidium sesquipedale**

Gelidium sesquipedale est une source particulièrement importante d'agar. L'agar est un mélange de deux polysaccharides : l'agarose et l'agaropectine. L'agarose est un polymère linéaire composé d'unités d'agarobiose, un disaccharide de D-galactose et 3,6-anhydro-L-galactopyranose (Figure 2). L'agaropectine est composée d'un mélange hétérogène de polysaccharides de plus petite taille, et notamment de polysaccharides sulfatés.

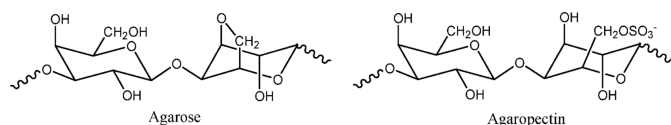


Figure 2 : Structure de l'agar-agar

L'agar trouve de nombreuses applications pour ses qualités gélifiantes : agent de texture dans l'industrie alimentaire (E406, très demandé sur le marché extérieur), épaississant dans l'industrie des cosmétiques et excipient dans l'industrie pharmaceutique. *Gelidium sesquipedale* est l'algue privilégiée pour produire l'agar de qualité bactériologique et pharmaceutique ainsi que l'agarose. Ces produits sont utilisés pour la confection de milieux de culture et de supports en électrophorèse et en chromatographie.

La qualité de l'agar dépend du degré de polymérisation, du moment et du lieu de récolte car la teneur et la qualité varient selon les saisons. Par exemple, au Maroc, le poids sec d'algue représente en moyenne 31 % du poids frais (minimum de 28, 5 % en juin ; maximum de 35 % en septembre). Les rendements d'agar varient peu de mars à août autour de 40 % du poids sec (minimum de 36 % en septembre ; maximum de 44,5 %) [3]. La méthode d'extraction de l'agar influe largement sur la qualité de celui-ci [4]. **A ce jour, les caractéristiques du *Gelidium* local demeurent inconnues aux exploitants.**

L'agar-agar, biomolécule principale de la valorisation actuelle du *Gelidium sesquipedale* a été extrait par la méthode classique utilisée aujourd'hui dans l'industrie de cet hydrocolloïde. Après avoir adapté les paramètres d'extraction à l'algue du Pays Basque, les extractions ont été réalisées sur chaque date

en triplicata. Chaque agar obtenu a été caractérisé en termes de rendements, spectres IRTF-ATR et température de fusion du gel.

L'analyse des résultats obtenus pour les rendements au cours des mois de collecte est en cours et ne pourra pas être présentée dans ce rapport. Cependant, les analyse IRTF-ATR et le calcul du point de fusion des gels d'agar ont mis en évidence la bonne qualité de l'agar-agar extrait (figure 3)

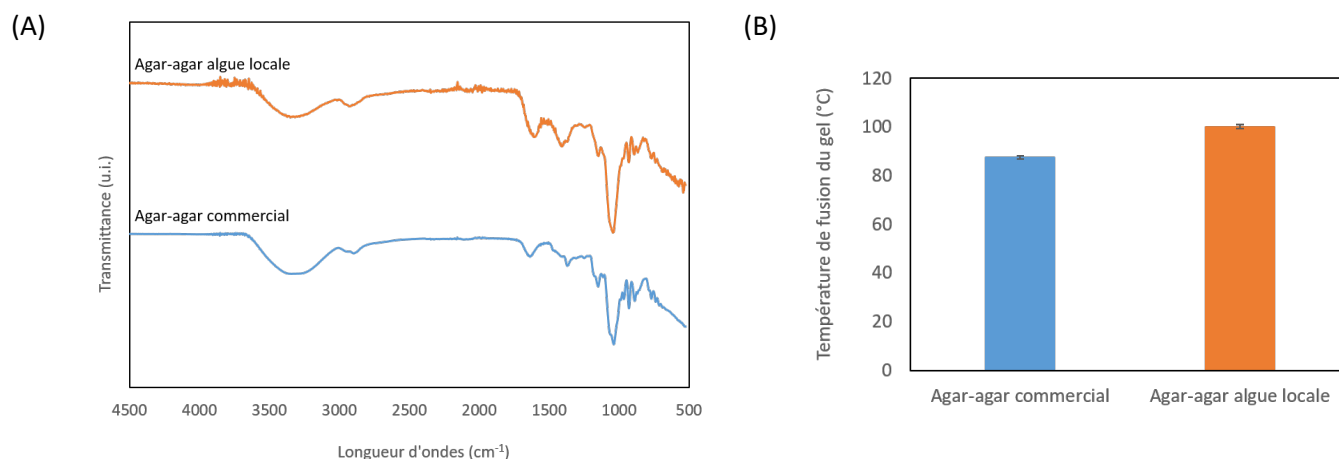


Figure 3 : Extraction de l'agar-agar de l'algue locale *Gelidium sesquipedale* (récolte du 30/10/21) et comparaison avec un agar-agar commercial. (A) spectres IRTF-ATR et (B) point de fusion des gels.

Les analyses ITRF-ATR ont montré les mêmes bandes caractéristiques de l'agar-agar entre l'agar commercial et celui extrait lors de cette étude confirmant ainsi la bonne qualité de l'agar-agar extrait du *Gelidium* local ainsi que de la méthode d'extraction employée. De plus, le point de fusion d'un gel d'agar préparé à partir du *Gelidium* local a été estimé à environ 100°C, ce qui est supérieur à celui du gel d'agar réalisé avec l'agar commercial (87,5°C) (Figure 3).

- *Un polymère structural avec un potentiel applicatif intéressant*

La cellulose est le biopolymère le plus abondant sur terre. Largement extraite du bois dans l'industrie de la papeterie, on en retrouve cependant également dans la macroalgue *Gelidium sesquipedale*. Malgré une quantité moindre comparée aux plantes terrestre, il est intéressant de l'extraire et quantifier, notamment dans l'idée d'une future valorisation complète de la biomasse. Par exemple, de la nanocellulose, incorporée à des films alimentaires, pourrait leur donner des qualités intéressantes pour la **préservation des aliments** et la libération prolongée de composés bioactifs [5]. Une approche de bioraffinerie pourrait viser la production simultanée de pâte à papier blanchie de haute qualité (à partir du cellulose) et de bioéthanol (en faisant une fermentation des sucres annexes).

La cellulose a été extraite par la méthode classique utilisée aujourd'hui dans l'industrie papetière. Après avoir adapté les paramètres d'extraction à l'algue du Pays Basque, les extractions ont été réalisées sur chaque date en triplicata. Chaque extrait de cellulose obtenu a été caractérisé en termes de rendements et spectres IRTF-ATR (figure 4). Les rendements en cellulose sont exprimés en

pourcentage du résidu sec obtenu après l'extraction d'agar. Les données obtenues sur l'années 2021 sont en cours d'analyse.

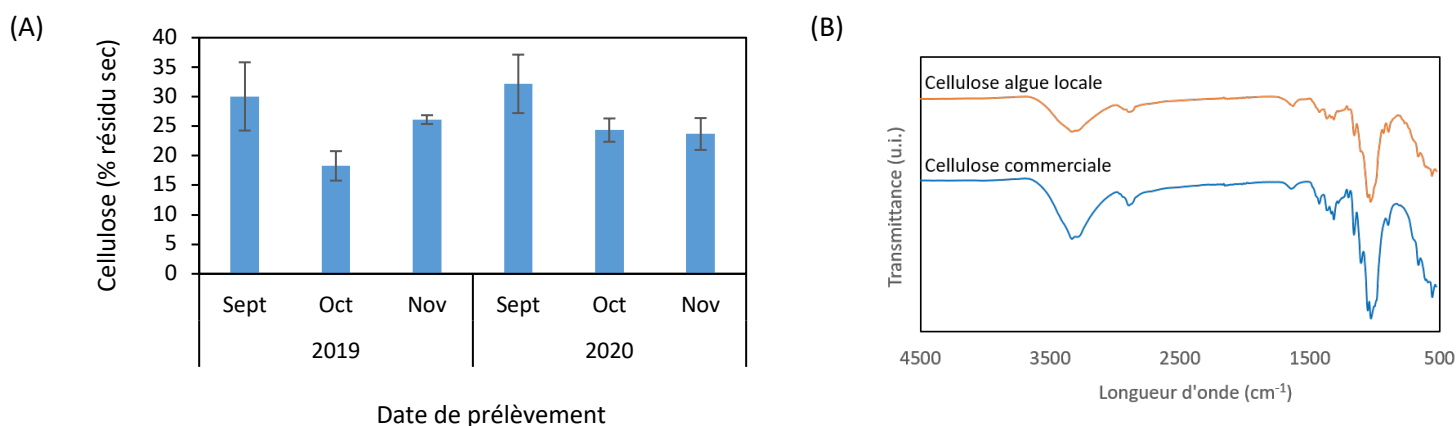


Figure 4 : (A) Suivi de la composition en cellulose sur les périodes de récolte 2019 et 2020 et (B) Spectres IRTF-ATR de la cellulose extraite et d'une cellulose commerciale.

Les analyses ITRF-ATR ont montré les mêmes bandes caractéristiques de la cellulose entre la cellulose commerciale et celle extraite lors de cette étude confirmant ainsi la bonne qualité de la cellulose extraite du *Gelidium* local ainsi que de la méthode d'extraction employée (Figure 4). Pour ce qui est des rendements de ce biopolymère au cours des périodes de récoltes, de légères différences ont pu être observées, notamment dans le prélèvement d'octobre 2019. Cependant, la quantité de cette macromolécule paraît assez stable dans le temps.

b) Les protéines

La macroalgue locale est composée d'une quantité non négligeable de protéines qui pourrait présenter des activités biologiques très intéressantes dans une variété de domaines, de l'alimentaire à la santé ou cosmétique. Des protéines spécifiques appelées phycobiliprotéines (Figure 5), par exemple, utilisées en génie biologique en tant que pigments [6] sont présentes dans le genre *Gelidium*.

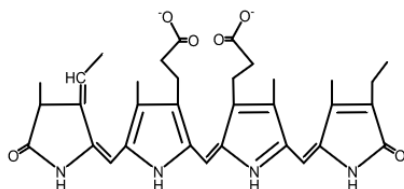


Figure 5 : Structure de la phycoérythrine (phycobiliprotéine)

Les protéines ont été extraites en suivant une méthode traditionnelle puis dosées à l'aide du dosage de Lowry (Figure 6). Les données obtenues sur l'années 2021 sont en cours d'analyse.

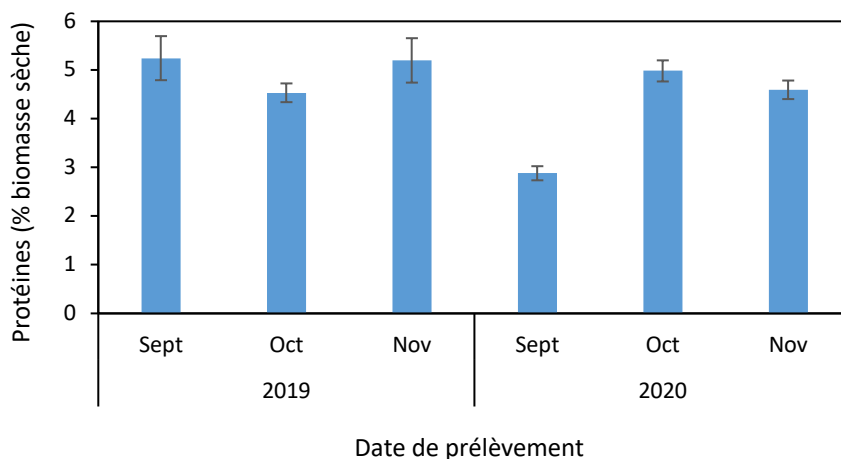


Figure 6 : Suivi de la composition en protéines extractibles par la méthode traditionnelle sur les périodes de récolte 2019 et 2020.

Excepté pour la récolte d'octobre 2020, la quantité en protéines extractibles du *Gelidium* local ne semble pas être influencée par la période ou année de récolte (Figure 6). Une étude des conditions environnementales de la fin de l'été 2020 notamment serait très intéressante pour tenter d'expliquer cette différence de composition en protéines en comparaison avec les autres prélèvements (environ 3% du poids sec de l'algue pour septembre 2020 contre environ 5% pour les autres prélèvements). Une autre conclusion a pu être tirée de ces résultats : le rendement extrait semble assez faible comparé à la quantité de protéines totale de cette espèce d'algues dans la littérature [1]. Ceci confirme la difficulté à extraire les protéines macroalgales qui a déjà été précédemment observée [7,8].

III.2.2. Suivi de la composition en petites molécules :

- Les acides aminés analogues de la mycosporine (MAAs)

Les acides aminés analogues de la mycosporine sont des molécules de faible poids moléculaires solubles dans l'eau (Figure 7). Ces molécules ont été principalement détectées dans des cyanobactéries, des microalgues, invertébrés marins ou coraux ainsi que des macroalgues, en particulier dans les macroalgues rouges. Les macroalgues, qui vivent généralement dans des eaux peu profondes où elles sont alors soumises à des rayonnements UV extrêmes, se protègent des rayonnement en produisant une catégorie de molécules, les MAAs, capables d'absorber les UV de manière très efficace. Ces molécules, dont les maxima d'absorption varient entre 310 et 360 nm servent donc d'agents protecteurs contre les radiations UV.



Figure 7 : Structure de l'astérine-330 (A) et de la palythine (B), deux acides aminés analogues de la mycosporine présents dans l'algue *Gelidium sesquipedale*

Bien que la fonction d'absorption des UV soit l'activité biologique des MAAs la plus étudiée, il a également été montré que ces molécules possédaient d'autres activités importantes telles qu'une activité anti-oxydante, pigments accessoires dans les complexes collecteurs de lumière lors de la photosynthèse ou comme réserve d'azote intracellulaire [9] par exemple.

Ces dix dernières années, ces composés ont fait l'objet d'un intérêt accru des scientifiques du fait de leur forte capacité à absorber les rayonnements UV, leur photo- et thermostabilité élevée et la faible durée de leur état excité évitant des réactions photochimiques non désirées, leur conférant ainsi un rôle d'excellent écran solaire [10]. Des écrans solaires à base de MAAs sont aujourd'hui disponibles sur le marché : Helioguard®365 (Mibelle group) et Helionori® (Gelyma).

Les MAAs ont été extraits par la méthode traditionnelle dont les paramètres optimaux ont préalablement été déterminés lors de l'étude de Castejon et al. Ils ont ensuite été dosés par HPLC-MS/MS également mise en place et publiée dans le cadre de ce projet [11]. Les données obtenues sur l'années 2021 sont en cours d'analyse.

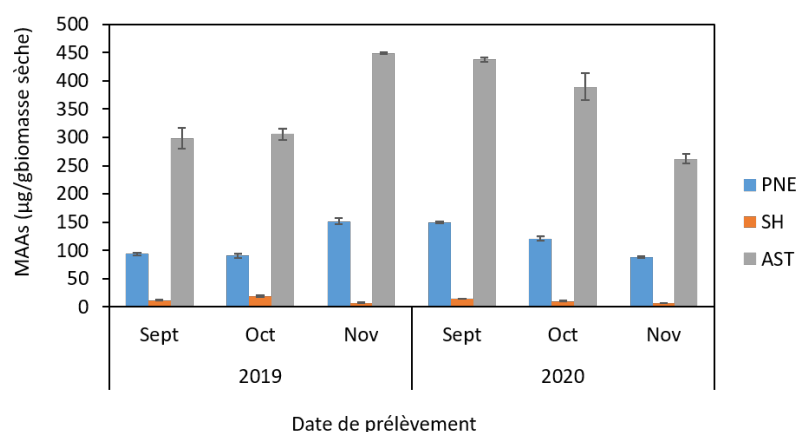


Figure 8 : Suivi de la composition en MAAs sur les périodes de récolte 2019 et 2020

Les résultats ont montré que le MAAs largement majoritaire dans la macroalgue locale était l'asterrine-330 (plus de 80%), suivi de la palythine et la shinorine (Figure 8). Des différences de compositions ont pu également être observées au cours des périodes de récolte. Sur l'année 2020, la composition en MAAs semble décroître à mesure que l'on s'éloigne de l'été, ce qui semble logique par rapport au rôle de protecteur contre les UV de ces molécules. En revanche, cette observation n'a pas été similaire pour

l'année 2019 ou la composition en MAA augmente en novembre comparée à septembre et octobre. Tout comme pour la composition protéique, une analyse plus fine des conditions environnementales pourrait être intéressante pour comprendre ces résultats.

- Les composés phénoliques

Des composés phénoliques, tels que les flavonoïdes ont été identifiés dans les macroalgues rouges. Plusieurs travaux ont mis en évidence l'intérêt de ces composés extraits notamment de macroalgues rouge pour des activités anti-oxydantes [12], anti-bactériennes, anti-tumorales, régulation des lipides du sang ou anti-inflammatoires [13].

Les composés phénoliques ont été extraits par la méthode traditionnelle dont les paramètres optimaux ont préalablement été déterminés lors de l'étude de Castejon et al. Ils ont ensuite été dosés par la méthode de Folin-Ciocalteu (Figure 9).

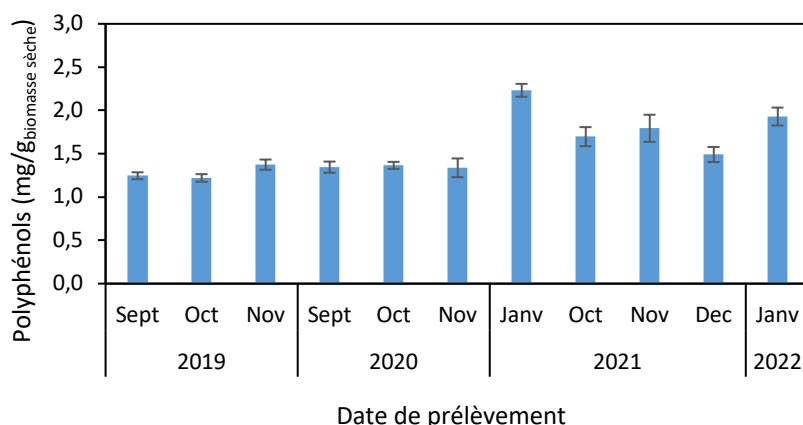


Figure 9 : Suivi de la composition en composés phénoliques sur les périodes de récolte 2019, 2020 et 2021

Les résultats ont montré de très faibles variations en composés phénoliques en fonction de la période de récolte, notamment avec une légère augmentation observable sur l'année 2021 en comparaison aux années 2019 et 2020 (Figure 9). Cependant, il est intéressant de noter que la composition en composés phénoliques de la *Gelidium locale* reste très faible quelle que soit la période de récolte.

Une étude complète présentant l'évolution de la composition biochimique des macroalgues rouges locales *Gelidium sesquipedale* sur les périodes de récolte 2019, 2020 et 2021 est en cours de rédaction et sera soumise avant la fin 2022.

III.3. Développement d'un procédé d'extraction fractionnée sur l'algue *Gelidium sesquipedale*

Cette partie de l'étude est le deuxième grand axe de recherche de ce projet après l'évaluation de la composition biochimique de la macroalgue au cours des périodes de récolte. Son objectif est de développer un procédé fractionné permettant de valoriser la macroalgue dans sa globalité en produisant plusieurs fractions d'intérêt. Les paramètres de chaque étape doivent être soigneusement optimisés afin de combiner bons rendements, qualité des extraits et coût opératoire et environnemental.

Problématiques clé :

Le développement d'une filière de valorisation de la macroalgue dans un contexte de bioéconomie bleue nécessite de lier coût environnemental et coût économique en optimisant les rendements d'extraction et la qualité des fractions obtenues. Pour cela, plusieurs points clés sont à prendre en compte.

1^{er} challenge clé : L'extraction des composés bioactifs peut présenter des rendements très faibles, limitée notamment par la présence d'une paroi cellulaire rigide. Cela a donc nécessité l'identification d'une technique de pré-traitement adaptée aux composés cibles et à la matrice algale afin de dégrader la paroi et améliorer les rendements d'extraction. Les méthodes testées peuvent être chimiques, biologiques ou physiques.

2^{ème} challenge clé : Développer un procédé permettant de maintenir la structure chimique des composés cibles et leur activité biologique tout en conservant des rendements d'extraction élevés et des coûts économiques et environnementaux limités. Pour cela, la connaissance des propriétés physico-chimiques des molécules cibles est nécessaire (choix de la méthode et des paramètres expérimentaux).

Par exemple, dans le cas de la macroalgue *Gelidium sesquipedale*, l'un des freins majeurs est la valorisation de la fraction protéique. En effet, bien que présentes en quantités non négligeables dans la macroalgue rouge, les protéines sont difficilement accessibles ce qui rend les techniques classiques d'extraction des protéines algales souvent chronophages et peu rentables économiquement. L'extraction traditionnelle de ces protéines nécessite de travailler à une température de 4°C, avec une quantité d'eau très importante ainsi qu'un temps d'extraction très long (donc une consommation d'énergie élevée) ce qui est un frein à leur extraction et valorisation dans un contexte de bioraffinerie et développement d'une filière en bioéconomie bleue. Une partie importante de cette étude a donc été de développer une stratégie plus verte et économique (en termes d'énergie, de temps, de solvant...) pour obtenir une fraction riche en protéines.

Cette étude a permis l'obtention de plusieurs fractions riches en composés d'intérêt en suivant un procédé de bioraffinerie. Elle est en cours de rédaction et fera l'objet d'une publication complète sous peu.

IV) Valorisation scientifique du projet :

Ce projet macroalgues a fait l'objet de plusieurs publications scientifiques et présentations lors de congrès nationaux et internationaux.

Publications scientifiques :

- C. McReynolds, A. Adrien, N. Castejón, S.C.M. Fernandes. (2022). Green in the deep blue: deep eutectic solvents as versatile systems for the processing of marine biomass. *Green Chemistry Letters and Reviews*. 15. 382-403. 10.1080/17518253.2022.2065890.
- N. Castejón, M. Parailoux, A. Izdebska, R. Lobinski, S.C.M. Fernandes. (2021). Valorization of the Red Algae *Gelidium sesquipedale* by Extracting a Broad Spectrum of Minor Compounds Using Green Approaches. *Marine Drugs*. 19. 574. 10.3390/md19100574.

Présentations lors de congrès :

C. McReynolds, A. Silvestre Ferron, N. Boussetta, N. Grimli, S. Fernandes, L. Pecastaing, *High voltage electrical pulses for the extraction of mycosporine-like amino acids from the agarophyte Gelidium sesquipedale*, EAPPC- Megagauss, Biarritz, **France**, Aug-Sept **2021** (poster)

E. Bascans, N. Brugerolle de Fraissinette, M. Thomas, C. McReynolds, N. Castejon, F. Samalens, S. Olza, M. Ekoule, U. T. Veettil, A. Petitpas, J-R Dalle, S. C. M. Fernandes, *From the Ocean and for the Ocean: MANTA chair, an example of bio-inspired research for the development of a circular Blue Bioeconomy*. European Federation of Biotechnology (EFB2021), virtual conference, 10-14 May **2021** (poster)

Note : De plus, trois autres publications découlant de ce projet sont en cours de rédaction et seront soumises prochainement : une review et deux articles scientifiques.

9/6/2022
Susana Fernandes



Références bibliographiques :

- [1] M. Cavaco, A. Duarte, M.V. Freitas, C. Afonso, S. Bernardino, L. Pereira, M. Martins, T. Mouga, Seasonal Nutritional Profile of *Gelidium corneum* (Rhodophyta, Gelidiaceae) from the Center of Portugal, *Foods*. 10 (2021) 2394. <https://doi.org/10.3390/foods10102394>.
- [2] N. Castejón, M. Parailoux, A. Izdebska, R. Lobinski, S.C.M. Fernandes, Valorization of the Red Algae *Gelidium sesquipedale* by Extracting a Broad Spectrum of Minor Compounds Using Green Approaches, *Marine Drugs*. 19 (2021) 574. <https://doi.org/10.3390/md19100574>.
- [3] A. Mouradi-Givernaud, L.A. Hassani, T. Givernaud, Y. Lemoine, O. Benharbet, Biology and agar composition of *Gelidium sesquipedale* harvested along the Atlantic coast of Morocco, in: Sixteenth International Seaweed Symposium, Springer Netherlands, Dordrecht, 1999: pp. 391–395. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4449-0_46.
- [4] D.J. McCugh, Agar, in: D.J. McCugh (Ed.), *A Guide to the Seaweed Industry, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, 2001: pp. 1–12.
- [5] J.P. de Oliveira, G.P. Bruni, M.J. Fabra, E. da Rosa Zavareze, A. López-Rubio, M. Martínez-Sanz, Development of food packaging bioactive aerogels through the valorization of *Gelidium sesquipedale* seaweed, *Food Hydrocolloids*. 89 (2019) 337–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.047>.
- [6] R. Mittal, H.A. Tavanandi, V.A. Mantri, K.S.M.S. Raghavarao, Ultrasound assisted methods for enhanced extraction of phycobiliproteins from marine macro-algae, *Gelidium pusillum* (Rhodophyta), *Ultrasonics Sonochemistry*. 38 (2017) 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.02.030>.
- [7] J. Florence, C. Le Coeur, S. Mabeau, M. Maurice, A. Landrein, Comparison of different extractive procedures for proteins from the edible seaweeds *Ulva rigida* and *Ulva rotundata*, *J Appl Phycol*. 7 (1995) 577–582. <https://doi.org/10.1007/BF00003945>.
- [8] H. Harrysson, M. Hayes, F. Eimer, N.-G. Carlsson, G.B. Toth, I. Undeland, Production of protein extracts from Swedish red, green, and brown seaweeds, *Porphyra umbilicalis* Kützinger, *Ulva lactuca* Linnaeus, and *Saccharina latissima* (Linnaeus) J. V. Lamouroux using three different methods, *J Appl Phycol*. 30 (2018) 3565–3580. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1481-7>.
- [9] A. Oren, N. Gunde-Cimerman, Mycosporines and mycosporine-like amino acids: UV protectants or multipurpose secondary metabolites?, *FEMS Microbiol Lett*. 269 (2007) 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2007.00650.x>.
- [10] F.L. Figueroa, Mycosporine-Like Amino Acids from Marine Resource, *Mar Drugs*. 19 (2021) 18. <https://doi.org/10.3390/md19010018>.
- [11] M. Parailoux, S. Godin, S.C.M. Fernandes, R. Lobinski, Untargeted Analysis for Mycosporines and Mycosporine-Like Amino Acids by Hydrophilic Interaction Liquid Chromatography (HILIC)—Electrospray Orbitrap MS2/MS3, *Antioxidants*. 9 (2020) 1185. <https://doi.org/10.3390/antiox9121185>.
- [12] J. Cao, J. Wang, S. Wang, X. Xu, *Porphyra* Species: A Mini-Review of Its Pharmacological and Nutritional Properties, *Journal of Medicinal Food*. 19 (2016) 111–119. <https://doi.org/10.1089/jmf.2015.3426>.
- [13] K. Kazłowska, T. Hsu, C.-C. Hou, W.-C. Yang, G.-J. Tsai, Anti-inflammatory properties of phenolic compounds and crude extract from *Porphyra dentata*, *Journal of Ethnopharmacology*. 128 (2010) 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.12.037>.