



Départements Océanographie et Dynamique des Écosystèmes

ODE/LITTORAL/LERARM-N. de Casamajor • F. Sanchez • M. Lissardy • L. Marmion • N. Caill-Milly
E. Antajan • M. Perriere-Rumebe

Université de Pau et des Pays de l'Adour

S. Fernandes • A. Adrien • E. Guillaume • Y. Lalanne

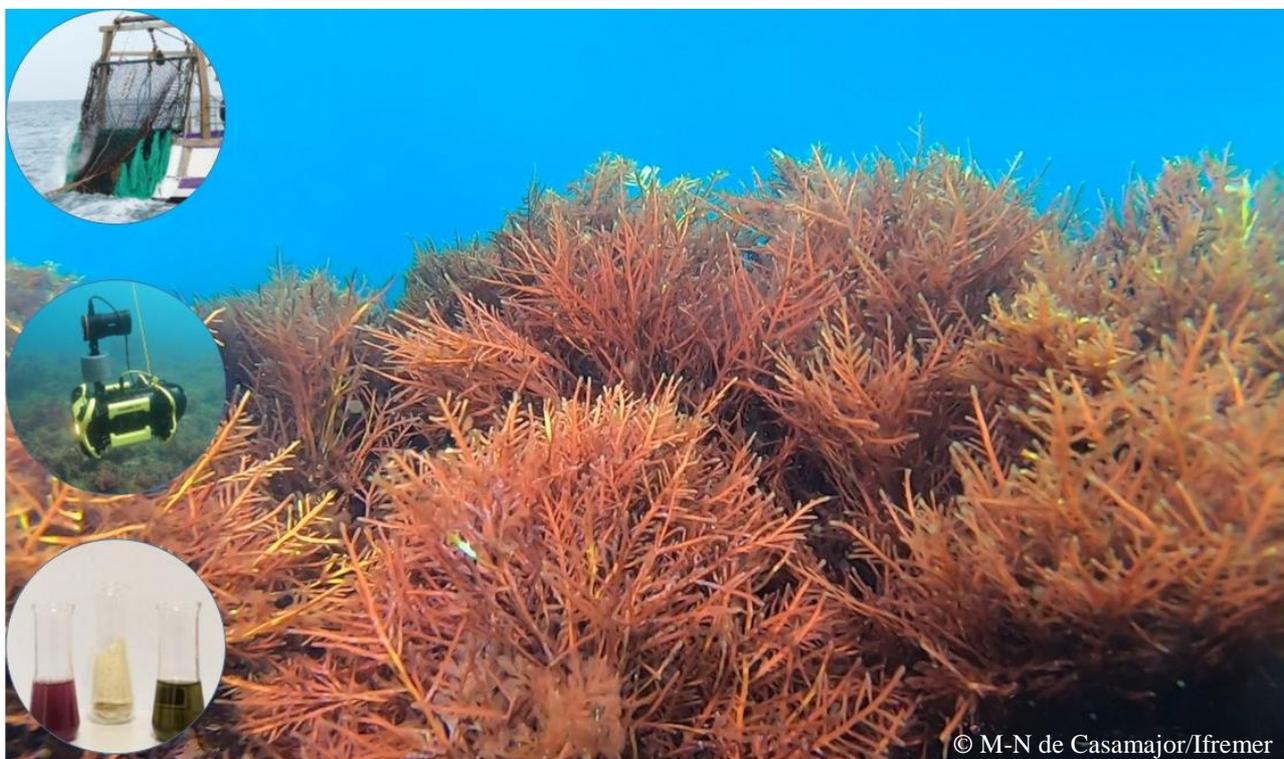
Centre pour l'Aquaculture, la Pêche et l'Environnement de Nouvelle-Aquitaine (CAPENA)

L. Soulier



GELIDIUM 64

Caractérisation des champs de Gelidium à l'échelle de la côte basque en 2022



© M-N de Casamajor/Ifremer



Gelidium 64

FICHE DOCUMENTAIRE

Titre du rapport : Gelidium 64 - Caractérisation des champs de Gelidium à l'échelle de la côte basque en 2022	
Référence interne : R.ODE/LITTORAL/LERAR/ 23-019	Date de publication : 2023/12/22
Diffusion : libre (internet) restreinte (intranet) – date de levée d’embargo : 2024/12/15 interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : 2024/12/15	Version : 1.0.0 Référence de l'illustration de couverture de Casamajor/Ifremer/ Étude du Gelidium sur la côte basque rocheuse Langue(s) : français
<p>Résumé : Ce projet se base sur la synthèse de données collectées localement en 2022 sur la côte basque selon 4 grands axes ciblés : une caractérisation des champs de Gelidium à partir d'une campagne d'échantillonnage dédiée ; une visualisation plus large de leur répartition à partir d'imagerie sous-marine de l'étendue des champs ; une évaluation de la qualité de cette ressource d'un point de vue biochimique, propriétés moléculaires ; une analyse de la filière et de l'activité de collecte du Gelidium et son historique. Ce travail constitue pour la première fois en 2022 un état des lieux de la situation qualitative (biochimie, hauteur des pieds, jaunissement...) et quantitative (% recouvrement, biomasse, débarquements...) de la ressource en Gelidium sur la côte basque française. Il est particulièrement mis en évidence un effet de la bathymétrie sur la ressource et un impact du jaunissement sur la qualité du Gelidium sur la côte basque. Les modifications des conditions environnementales disponibles expliquent en partie des tendances observées mais nécessitent l'acquisition de données environnementales complémentaires pour appréhender correctement l'évolution de cette ressource tant qualitativement que quantitativement.</p> <p>Abstract: This project is based on the synthesis of local data collected in 2022 on the Basque coast along 4 main targeted axes: a characterization of the Gelidium meadows based on a dedicated sampling campaign; a broader visualization of their distribution from underwater imagery of the extent of the fields; an evaluation of the quality resource from a biochemical point of view, molecular properties; an analysis of the Gelidium sector and collection activity and its history. This work constitutes for the first time in 2022 an inventory of the qualitative (biochemistry, height of the feet, yellowing, etc.) and quantitative (% recovery, biomass, landings, etc.) situation of the Gelidium resource on the French Basque coast. It is particularly highlighted an effect of bathymetry on the resource and an impact of bleaching on the quality of Gelidium on the Basque coast. Global changes conditions partly explain observed trends but require additional environmental parameters data to understand correctly the evolution of this resource both qualitatively and quantitatively.</p>	
Mots-clés : Rhodophyte, Gelidium, Ressource, AMP, composition biochimique, exploitation.	
Key words : Rhodophyta, Gelidium, Resource, Marine Protected Area, biochemical composition, exploitation.	
Comment citer ce document : Casamajor (de) MN., Sanchez F., Lissardy M., Marmion L., Caill-Milly N., Soulier L., Fernandes S., Adrien A., Guillaume E., Lalanne Y., Antajan E., Perriere-Rumebe M., 2023. Gelidium 64- Caractérisation des champs de Gelidium à l'échelle de la côte basque en 2022. Rapport Ifremer/ODE/LITTORAL/LERAR/23.019, 70 p.	

Disponibilité des données de la recherche :
DOI :

Commanditaire du rapport : Conseil Département 64 Région Nouvelle Aquitaine	
Nom / référence du contrat :	
Rapport définitif (ODE/LITTORAL/LERAR/23.019)	
Projets dans lesquels ce rapport s’inscrit (programme européen, campagne, etc.) : AMI 64 Fantastiques	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service/ Laboratoire
Marie-Noëlle de Casamajor : marie.noelle.de.casamajor@ifremer.fr	PDG-ODE-LITTORAL-LERAR
Florence Sanchez : florence.sanchez@ifremer.fr	PDG-ODE-LITTORAL-LERAR
Muriel Lissardy : muriel.lissardy@ifremer.fr	PDG-ODE-LITTORAL-LERAR
Léa Marmion : lea.marmion@ifremer.fr	PDG-ODE-LITTORAL-LERAR
Nathalie Caill-Milly : nathalie.caill.milly@ifremer.fr	PDG-ODE-LITTORAL-LERAR
Elvire Antajan : elvire.antajan@ifremer.fr	PDG-ODE-LITTORAL-LERAR
Myriam Perriere Rumebe : myriam.rumebe@ifremer.fr	PDG-ODE-LITTORAL-LERAR
Laurent Soulier : l.soulier@cape-na.fr	CAPENA
Yann Lalanne : yann.lalanne@univ-pau.fr	UPPA/STEE
Enora Guillaume : enora.guillaume@orange.fr	UPPA/IPREM/Manta
Amandine Adrien : amandine.adrien@univ-pau.fr	UPPA/IPREM/Manta
Susana De Matos Fernandes : susana.fernandes@univ-pau.fr	UPPA/IPREM/Manta
Encadrement(s) :	
Destinataire : Conseil Départemental Pyrénées-Atlantiques – Région Nouvelle-Aquitaine	
Validé par :	

SOMMAIRE

1	Contexte général.....	1
1.1	Directive Habitat Faune Flore (DHFF) et le réseau Natura 2000	2
1.2	Habitats ciblés.....	3
1.3	Contexte économique de la filière.....	4
1.3.1	Contexte international	4
1.3.2	Production mondiale de Gelidium.....	5
1.3.2.1	Situation générale	5
1.3.2.2	Principaux pays producteurs.....	6
1.3.2.3	Autres productions d'agarophytes	9
1.3.3	Contexte national	9
1.4	Objectifs du projet Gelidium 64.....	11
2	Matériels et Méthodes.....	12
2.1	Présentation du site d'étude	12
2.1.1	Localisation au sein de la zone Natura 2000	12
2.1.2	Caractérisation des conditions environnementales.....	12
2.1.3	Présentation de la filière	13
2.2	Plan d'échantillonnage.....	14
2.3	Caractérisation des champs de Gelidium	15
2.3.1	Acquisition des données en plongée.....	16
2.3.2	Acquisition d'images par drone sous-marin.....	20
2.3.3	Évaluation de la composition biochimique (UPPA).....	22
2.4	Traitement des données.....	23
2.4.1	Analyse de la production par la filière	23
2.4.2	Analyse des échantillons collectés en plongée	24
2.4.3	Analyse des données acquises par drone sous-marin	25
2.4.4	Analyse biochimique du <i>Gelidium corneum</i> prélevé en plongée	25
3	Résultats.....	26
3.1	Bilan de la production.....	26
3.1.1	Par les pêcheurs professionnels.....	26
3.1.2	Par les ramasseurs sur l'estran.....	27
3.2	Caractérisation des champs de Gelidium avec l'environnement.....	28
3.2.1	Conditions lors de l'échantillonnage	28
3.2.2	Principales caractéristiques biologiques des champs	29
3.2.2.1	Liens entre variables populationnelles.....	29
3.2.2.2	Variables populationnelles et distribution spatiale	31
3.2.2.3	Corrélation entre variables populationnelles et biochimiques	33
3.2.3	Description des épiphytes sur le Gelidium	33
3.3	Représentation spatiale du recouvrement de Gelidium sur les transects prospectés en drone sous-marin.....	35
3.4	Analyses biochimiques du <i>Gelidium corneum</i> prélevé en plongée.....	40
4	Discussion.....	43

4.1	Situation de la ressource en 2022.....	43
4.1.1	Ressource disponible.....	44
4.1.2	Apport de connaissances par imagerie sous-marine.....	44
4.2	Caractéristiques de la ressource en 2022.....	45
4.2.1	Jaunissement des rameaux.....	45
4.2.2	Epiphytisme.....	46
4.2.3	Ressource selon la bathymétrie	46
4.3	Conditions de croissance de la ressource en 2022	47
4.3.1	Effet de l'hydrodynamisme	47
4.3.2	Effet de la température de l'eau	48
5	Conclusions et Perspectives	50
6	Bibliographie	51
7	Annexes	57

Remerciements

Les auteurs remercient les personnes qui ont contribué aux échantillonnages et au bon déroulement de cette campagne : en particulier, Laura HUGUENIN de Benthos 64 pour son implication et son investissement lors des sorties de terrain et le Directeur de la Base Fédérale d'Hendaye (BFH) Philippe CONSTANTIN ainsi que Fred CHOUET, David CELABE et Axel AVANEL, toujours bienveillants à terre comme en mer.

Nos remerciements vont également à Noëlle BRU du Laboratoire de Mathématiques et de leurs Applications de Pau (UPPA) pour ses conseils et échanges sur le traitement statistique d'une partie des données. Nous sommes également reconnaissants à Matthias DELPEY et à Rémi GIRARDON de Rivages Pro Tech pour leur transmission de données environnementales actuellement en phase d'exploration.

Nous remercions nos financeurs pour leur confiance et sans qui ces connaissances n'auraient pas été acquises : le Conseil Départemental 64 à travers la subvention accordée dans le cadre de l'appel à manifestation d'intérêt « les 64 fantastiques » et la Région Nouvelle-Aquitaine qui a assuré le financement du complément nécessaire pour mener à bien ce projet dans le cadre du dispositif « mer et littoral ».

Nous remercions également pour leur soutien les chargés de mission Natura 2000 : Inès ALMANDOZ de la Communauté d'Agglomération Pays Basque et Nicolas SUSPERREGUI pour le CIDPMEM 64-40 en lien avec l'activité d'exploitation du Gelidium. En complément de ces structures nous remercions le CPIE littoral basque, Pascal CLERC et Mairer CAMPAGNE qui ont contribué à nous permettre de diffuser les connaissances acquises vers le grand public ainsi que Lionel SEVILLA de la Ville d'Hendaye / Conservatoire du Littoral pour son apport dans la réglementation locale.

1 Contexte général

La sensibilité des communautés benthiques sessiles face aux modifications du milieu (dépôts de sédiments, action mécanique, contamination chimique, changements climatiques...) leur confère un caractère vulnérable face aux pressions qui s'exercent sur leurs habitats, particulièrement sur la zone littorale. Ainsi, leur étude constitue un intérêt majeur dans l'évaluation de l'état de conservation des écosystèmes. Les biocénoses des récifs infralittoraux caractérisées par la présence de grandes algues benthiques constituent un habitat fonctionnel remarquable (nursérie, protection, nourrissage ...) grâce à leur contribution à la production primaire, à une biodiversité diversifiée y compris pour les espèces d'intérêt commercial. Les botanistes du XIX^{ème} jusqu'au début du XX^{ème} siècle ont remarqué un caractère méridional de la côte basque dont la faible représentation des Ochrophyta et plus particulièrement des fucales. Entre ces deux périodes, une diminution de la représentativité des algues brunes sur la côte basque a déjà été décrite (Sauvageau, 1897). Notamment, il est fait mention de la présence de ceintures de fucales sur de nombreuses stations du domaine côtier basque (Ficher-Piette & Dupérier, 1960) qui ont fortement régressé voire pratiquement disparu au milieu du XX^{ème} siècle. Cela concerne particulièrement *Pelvetia canaliculata* et *Ascophyllum nodosum*. Ce caractère méridional était d'ailleurs mentionné aussi bien pour la flore que pour la faune de la côte basque (Folin, 1903).

Le Rhodophyte *Gelidium corneum* (Hudson) J.V. Lamouroux, 1813, est un producteur primaire considéré comme une espèce ingénieure. Sur la côte basque, ses champs sont remarquables du point de vue de leur densité et de leur surface de colonisation en raison des conditions hydrodynamiques favorables à leur développement. Ils constituent une véritable canopée et leur caractère tri-dimensionnel contribue à la fonctionnalité de l'écosystème sur les côtes rocheuses du sud du golfe de Gascogne : abris de nombreuses espèces animales (poissons et invertébrés) et végétales, nurserie (pontes protection et nourricerie). La principale répartition bathymétrique des champs de *Gelidium* s'étend entre 3 et 15 m de profondeur, au-delà les pieds sont parsemés. Cette répartition, principalement subtidale, explique le fait que cette spécificité régionale n'a été soulevée par les botanistes que plus tardivement. La surface colonisable par le *Gelidium* dépend de la nature des fonds, préférentiellement la roche et les flyschs dont la partie supérieure est particulièrement exposée à la houle tandis que les zones de blocs et de substrats meubles ne sont pas favorables à la fixation des pieds. La pénétration de la lumière dans la colonne d'eau est un facteur limitant leur développement. La zone infralittorale de la zone N2000 « côte basque rocheuse et extension au large » accueille les principaux champs de *Gelidium* de la façade française, ce qui renforce l'intérêt d'acquérir des connaissances sur cette espèce (Fig. 1 & Fig. 2).

Une spécificité de la côte basque rocheuse française est de présenter des conditions écologiques particulièrement favorables au développement du *Gelidium corneum* [(Hudson) J.V. Lamouroux, 1813] : températures, exposition à la houle, oxygénation et brassage du milieu. Ainsi, même si sa présence est signalée sur l'ensemble des côtes rocheuses du golfe de Gascogne et plus rarement en Manche (Dizerbo et Herpe, 2007), les populations les plus denses se localisent entre Biarritz et la frontière espagnole. Au-delà de son intérêt écologique, cette espèce constitue une ressource économique importante pour la côte basque. Elle est exploitée pour ses propriétés biochimiques et plus particulièrement l'extraction d'agar agar et, plus récemment, pour extraire de nouvelles molécules actives notamment pour la fabrication de cosmétiques.

En Espagne, les champs de *Gelidium* sont étudiés depuis de nombreuses années et un déclin de cette ressource est observé sur la côte basque et cantabrique. Les chercheurs locaux ont envisagé plusieurs hypothèses expliquant ce déclin et notamment les changements globaux, où interagissent plusieurs facteurs en lien avec les conditions océano-climatiques et les pressions anthropiques sur le domaine côtier (Gorostiaga, 1994, Borja et al., 2013, 2018 ; Díez et al., 2012). D'un point de vue biochimique, une dégradation de la qualité du *Gelidium* est également mise en évidence (Quintano et al., 2013). Visuellement, ce phénomène se traduit par un jaunissement des rameaux qui serait lié à une augmentation de l'irradiance dans la colonne d'eau (Quintano et al., 2015, 2017, 2019). Sur la côte basque française, les études sont moins nombreuses. Les travaux de Barbaroux et Kaas, à la fin des années 1990 fournissent des estimations de densités de *Gelidium* (exprimées en kg.m⁻²) (Barbaroux et Kaas, 1999) (Fig. 1). Il est intéressant de noter qu'à cette époque il n'est pas mentionné de jaunissement des rameaux. Depuis 2008, des données, non ciblées sur cette espèce, sont également disponibles dans le cadre des suivis de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) sur 3 stations de référence pour la côte basque et à différentes profondeurs (de Casamajor et al., 2022). Dans le même temps, un projet

de Développement Local mené par les Acteurs Locaux [(DLAL-FEAMP porté par l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) visant à caractériser la composition physico-chimique et biochimique des algues est en cours, ainsi qu'une réflexion sur une possible structuration de la filière. Ces données concernent uniquement les algues issues du ramassage de rameaux détachés. Il n'est donc pas possible d'avoir des informations sur leur origine géographique et bathymétrique.

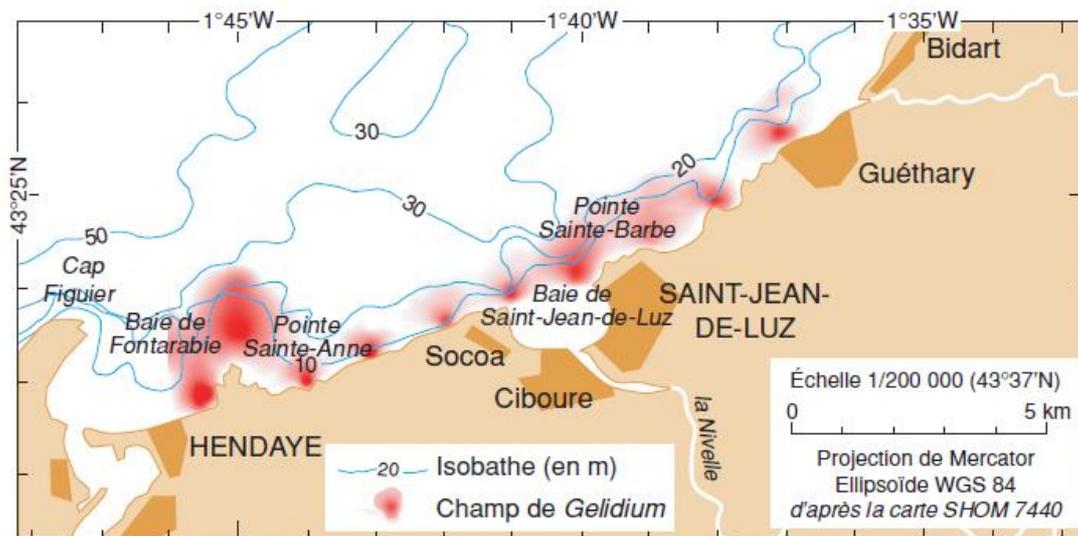


Figure 1. Localisation des champs de *Gelidium corneum* (Source : Barbaroux et Kaas, 1999 in Augris et al., 2009).

Les résultats de ce projet viennent compléter les démarches déjà engagées et répond à l'appel à manifestation d'intérêt (AMI) « les 64 fantastiques » lancé par le département des Pyrénées Atlantiques. Les actions envisagées couvrent les axes attendus par cet AMI à savoir :

- **La connaissance et le diagnostic** sur une espèce d'intérêt à la fois écologique (rôle fonctionnel) et économique pour une activité d'exploitation durable de cette ressource (récolte d'algues épave uniquement) ;
- **La gestion** à travers l'amélioration des connaissances des propriétés biochimiques au niveau spatial pour optimiser son potentiel de valorisation auprès de la filière de transformation de cette ressource. Une meilleure connaissance de la filière constitue également un atout majeur ;
- **La sensibilisation** auprès des acteurs locaux et des citoyens notamment à travers la diffusion des résultats auprès de la profession et grâce aux animateurs Natura 2000. Une plaquette de diffusion grand public sur cette espèce est prévue dans le projet. Ces travaux seront également diffusés dans le cursus universitaire de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) sur le site d'Anglet filière écologie, avec traitement des données dans le cadre de projets tuteurés.

1.1 Directive Habitat Faune Flore (DHFF) et le réseau Natura 2000

La Directive Européenne Habitat Faune Flore, plus connue sous le nom de directive « Habitat » (92/43/CEE), constitue une base réglementaire pour la conservation des habitats et espèces d'intérêt communautaires listés sur la convention OSPAR. Cette directive s'appuie donc sur des zones où ces habitats et espèces listés dans OSPAR sont présents (appelé réseau Natura 2000), aussi bien sur le domaine continental que marin. Ce réseau contribue à la gestion d'espaces naturels sensibles via la mise en place d'un document d'objectif (Docob) qui veille à maintenir la biodiversité à travers un bon état de conservation des habitats (Le Moigno et Duvauchelle, 2015).

En milieu marin, les zones Natura 2000 constituent des Aires Marines Protégées. La zone Natura 2000 ciblée ici est la zone FR7200813 « Côte basque rocheuse et extension au large » (Fig. 2) pour laquelle le document d'objectif a été validé en 2015. Afin de garantir l'atteinte des objectifs du Docob, mais aussi d'assurer le maintien des activités économiques en place, un espace de concertation est organisé pour une conciliation entre protection du milieu et activités anthropiques. Ainsi, à partir d'un ensemble de diagnostics sur le territoire et

la prise en compte des enjeux de conservation, les objectifs du Docob ont été précisés. Un plan d'action pour atteindre ces objectifs de gestion et leur priorisation a également été défini dans ce document.

Pour exemple, parmi les actions listées dans les objectifs de gestion, on peut citer la M10 : Améliorer les connaissances sur l'habitat d'intérêt communautaire Récifs et évaluer son état de conservation (Le Moigno et Duvauchelle, 2015). Ces actions font partie intégrante des objectifs du projet Gelidium64. Les résultats du projet permettront de caractériser l'état de conservation des champs de Gelidium à l'échelle de la côte basque.

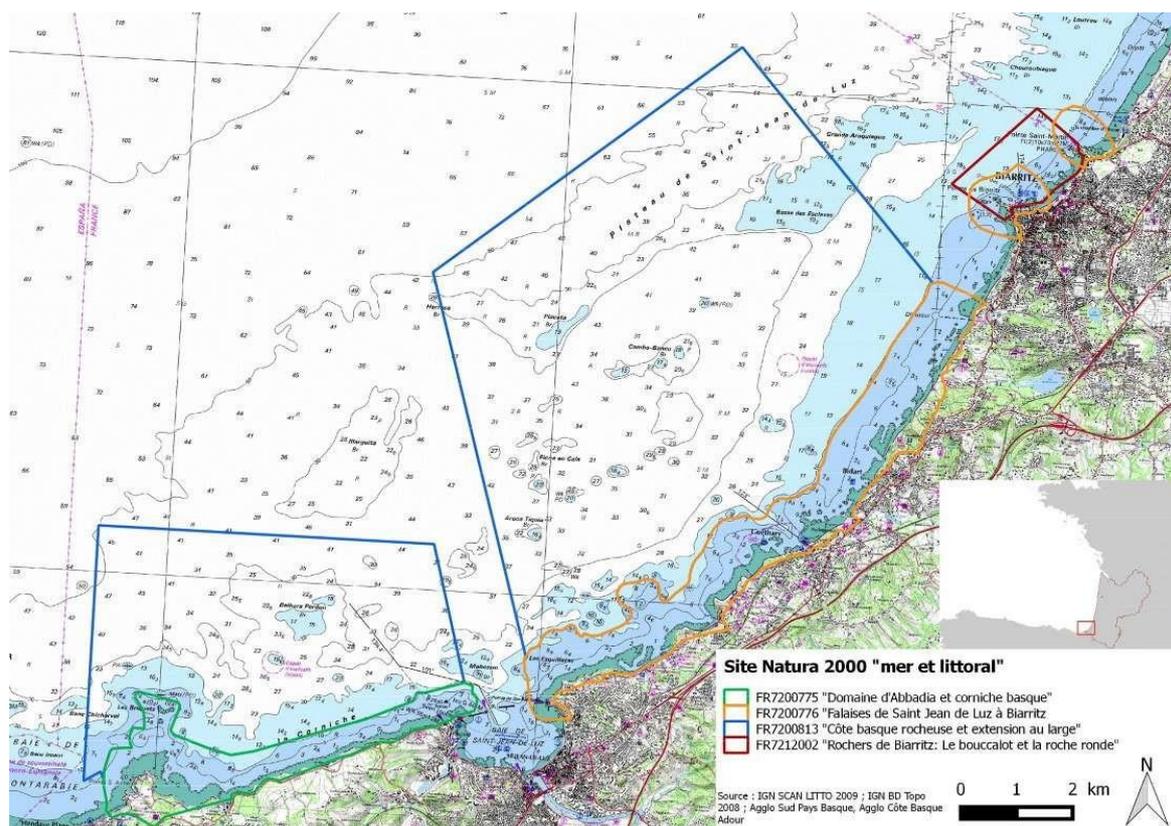


Figure 2. Localisation des zones N2000 sur la côte basque dont « Côte basque rocheuse et extension au large » sur la côte basque. Source : <https://www.pyrenees-atlantiques.gouv.fr/>

1.2 Habitats ciblés

La côte basque est exposée aux vents dominants et reçoit la houle océanique venue du large sans qu'aucun obstacle (îles, hauts fonds...) ne freine sa propagation. Elle est donc soumise à une houle de grand fetch¹, très énergétique, elle est considérée comme une côte « très exposée » et à fort hydrodynamisme car la distance de propagation du fetch est supérieure à 25 km (Davies et al., 2004). Il convient de noter que ce paramètre est sous-estimé dans ce qui est présenté dans la cartographie d'habitats du projet Cartham avec des habitats qualifiés en « modérément exposés » (Creocean-Ima, 2014). Un découpage prononcé de la côte pourrait constituer un élément d'atténuation des effets de la houle, mais, dans la mesure où la côte basque est rectiligne, cela ne contribue pas à une diminution énergétique. Ainsi, les régimes de houle fluctuent au cours de l'année et les mois d'été sont caractérisés par des houles moins énergétiques (Abadie et al., 2005). L'intensité de l'hydrodynamisme et la topographie du substrat constituent des paramètres prépondérants sur la composition des espèces d'algues. Les habitats étudiés tels que définis dans les cahiers d'habitats au sein de cette zone Natura 2000 sont l'habitat 1170 Récifs (1170-5 roche infralittorale en mode exposé). En considérant la classification européenne EUNIS (EUropean Nature Information System) les habitats ciblés dans ce projet se déclinent de la façon suivante (<https://inpn.mnhn.fr/>) :

¹ Grande distance sur la mer sur laquelle le vent souffle sans rencontrer d'obstacle jusqu'à la côte.

- M : Habitats benthiques marins
- MB : Habitats benthiques marins infralittoraux
- MB1 - Roche de l'infralittoral
- MB1-2- Roche de l'infralittoral de l'Atlantique
 - MB1-22- Communautés algales et animales sur roche de l'infralittoral en Atlantique
 - MB1-221- Algues rouges foliacées sur roche exposée de l'infralittoral inférieur de l'Atlantique
 - MB1-223- *Cystoseira* spp. sur roche en place et blocs exposés de l'infralittoral en Atlantique

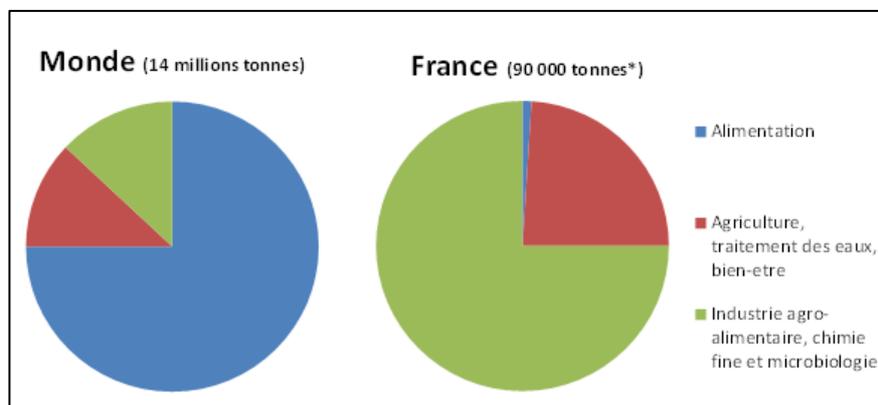
Concernant les pressions qui s'exercent sur ces habitats de la côte basque infralittorale, la principale identifiée concerne les zones de rejet des stations d'épuration qui sont localisées sur des petits fonds directement à la côte (de Casamajor et al., 2020). Il convient d'ajouter à cela les apports des différentes rivières qui drainent l'ensemble du bassin versant et qui se jettent dans l'océan dont principalement en matière de débit, l'Adour au nord, la Nivelle par l'intermédiaire de la baie de Saint-Jean-de-Luz et la Bidassoa au sud. Il faut aussi par ailleurs ajouter les effluents de rivières plus modestes qui jalonnent le littoral. Ces divers rejets sont à la fois une source d'apports de polluants mais également de nutriments favorables à la croissance des algues. Ils sont de nature à modifier les propriétés physico-chimiques des eaux côtières (dessalure, turbidité...), propriétés de nature à influencer la composition des communautés algales.

Les travaux sont rares et l'échelle de temps insuffisante pour étudier les successions écologiques sur ces habitats. Les informations disponibles précisent que l'on est davantage sur un pas de temps au niveau de la décennie que de l'année (Denitto et al., 2007). Depuis 2008, un suivi est opéré tous les trois ans, dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau à travers le calcul d'un indicateur Macroalgues subtidales pour la masse d'eau FRC11 « Côte basque » (Derrien-Courtel et al., 2014). Cinq campagnes sont disponibles à ce jour.

1.3 Contexte économique de la filière

1.3.1 Contexte international

La production d'algues dans le monde atteint 14 millions de tonnes annuelles, avec une application prédominante pour l'alimentaire (75 %). En France cette tendance est différente, avec une production annuelle de 90 000 tonnes (imports compris), 75 % des algues françaises sont utilisées pour l'agro-alimentaire et la chimie (cosmétique).



La production d'algues au niveau mondial a principalement une vocation alimentaire. Les pays asiatiques, qui consomment cette ressource depuis des siècles (depuis le VI^{ème} siècle au Japon) sont les principaux producteurs-consommateurs d'algues. La Chine en particulier est le plus gros producteur d'algues alimentaires

avec près de 5 millions de tonnes fraîches par an (*Saccharina (Laminaria) japonica*, *Undaria pinnatifida*). Le Japon produit près de 600 000 tonnes d'algues fraîches par an, principalement représentées par l'espèce *Porphyra* ou Noli (algue enveloppant les Sushis).

En France, les macroalgues alimentaires sont très peu exploitées. Quatorze espèces sont autorisées par les autorités sanitaires pour la consommation : *Ascophyllum nodosum*, *Chondrus crispus*, *Fucus vesiculosus* et *F. serratus*, *Gracilaria verrucosa*, *Himanthalia elongata*, *Lithothamne*, *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima* et *S. japonica*, *Undaria pinnatifida*, *Palmaria palmata*, *Porphyra* sp., *Ulva* spp. Des exigences sanitaires imposent le contrôle des teneurs en bactéries et métaux lourds avant la commercialisation. Au sein de l'Union Européenne, seules la France et la Belgique imposent une réglementation sanitaire pour les algues alimentaires (Idealg, 2023).

Les algues sont aussi utilisées pour extraire des molécules aux propriétés intéressantes pour plusieurs secteurs industriels : agro-alimentaire, cosmétique et pharmaceutique. Les algues brunes, et en particulier les Laminaires, sont riches en alginates. Le *Gelidium* est utilisé dans la médecine chinoise pour soigner les affections intestinales (Buschmann et al., 2017) mais évidemment c'est bien sûr la production d'agar-agar E406 et plus encore celle d'agarose pure à destination de l'industrie pharmaceutique qui produit la plus grande valeur ajoutée.

Les algues rouges sont riches en carraghénanes (*Chondrus crispus*) et en agar (*Gelidium* et *Gracilaria*). Les alginates, les carraghénanes et l'agar sont des hydrocolloïdes ayant des propriétés gélifiantes, stabilisantes et épaississantes qui entrent dans la composition de très nombreux produits cosmétiques et alimentaires, et sont commercialisés en tant qu'additif codé de E400-407.

Près d'1 million de tonnes d'algues fraîches par an sont utilisées dans le monde pour extraire ces 3 composés. En France, deux entreprises sont spécialisées dans l'extraction et la commercialisation de ces composés : ALGAIA (anciennement CARGILL) et DUPONT, elles comptent pour environ 20% du marché mondial (Idealg, 2023). L'utilisation des extraits d'algues dans les produits cosmétiques est une spécialité française unique reconnue dans le monde. Mis à part le rôle texturant des hydrocolloïdes, l'extrait est une source de tensio-actifs naturels et d'ingrédients actifs tels que des osmo-protecteurs ou les oligo-alginates (action antipollution, anti-acné et anti-âge) et les fucoïdanes (action anti-âge et croissance capillaire).

Les macroalgues sont également utilisées comme fertilisants, phytostimulants ou aliments pour animaux.

1.3.2 Production mondiale de *Gelidium*

1.3.2.1 Situation générale

Gelidium spp. (Rhodophyta) est un genre d'algues rouges exploité commercialement pour la production d'agar bactériologique et d'agarose (Melo, 1998). Les populations naturelles de *Gelidium* constituent la principale source de matière première pour l'industrie car l'aquaculture de cette espèce à large échelle n'est pas faisable actuellement (Santos & Melo, 2018). Même si l'agar extrait du *Gelidium* ne représente actuellement qu'environ 1,6 % de la production mondiale de phycocolloïdes (Porse & Rudolph, 2017), sa haute résistance à la gélification à basse température le rend difficile à remplacer par des agars extraits d'autres espèces. Les agars purifiés de qualité supérieure utilisés en pharmacologie, biomédical, biotechnologie et d'autres applications spécifiques, sont extraits exclusivement du *Gelidium* (Armisen, 1991). Les *Gelidiums* sont très prisés dans l'industrie de la gélose pour leur constance dans la gélification, leur stabilité électro-négative et leur faible pourcentage de sulfate (Armisen, 1991) (McHugh, 1991) (Porse & Rudolph, 2017).

L'extraction d'agar provenant du *Gelidium* est originaire du Japon au début du XX^{ème} siècle, et s'est développée à l'international dans les années 50, lorsque des pays comme l'Espagne, le Portugal, le Maroc, le Mexique et la Corée du Sud sont entrés sur le marché (Santos & Melo, 2018). Le développement mondial de la pêche a coïncidé avec la diminution du rôle du Japon en tant que producteur principal d'agar, passant d'une part de marché de 100 % à 34 % dans les années 1950 et à 26 % dans les années 1960. Les débarquements de *Gelidium* à l'échelle mondiale ont atteint un sommet à 60 000 t par an au début des années 1960, et se sont maintenus jusqu'aux années 1990, lorsque différents facteurs ont fait passer le marché d'une production multi-espèces à principalement la production de *Gelidium corneum* (Santos & Melo, 2018). Il a alors été constaté que certaines espèces produisent de l'agar de la plus haute qualité (Armisen, 1991 ; Fernandez, 1991). *G. corneum* du Maroc représente actuellement environ 82 % de la production de matières premières pour

l'industrie de la gélose contre 23 % dans les années 1960 (Santos & Melo, 2018). Cependant, la mauvaise gestion de cette ressource au Maroc et les changements climatiques au cours des dernières décennies ont amorcé une pénurie mondiale d'agar et d'agarose. Avec une production mondiale en baisse à 25 000 t/an, elle se situe à un niveau inférieur à la production mondiale des années 1950 (Santos & Melo, 2018).

La production mondiale d'agar, en considérant une moyenne industrielle de rendement en gélose de 17 %, a atteint un sommet dans les années 1980 à 10 000 t. Dans les années 2010, seulement 4 000 t d'agar ont été extraites du *Gelidium*. La demande d'agar et d'agarose à base de *Gelidium* ont récemment dépassé l'offre mondiale dans les récentes décennies, avec des fluctuations de prix conduisant à un marché instable voire à une pénurie. Les prix de gros sont aujourd'hui de 35 à 45 \$ / kg, soit près du triple de celui constaté avant la pénurie (Callaway, 2015).

Les stocks internationaux de *Gelidium* font face à des problèmes de durabilité d'exploitation en raison de la surexploitation et des changements climatiques. De ce fait, les évaluations régionales doivent être réalisées afin de maintenir la durabilité de la ressource (Higgins et al., 2022). Cependant, une des raisons majeures de la forte diminution des apports, particulièrement en Asie, est socio-économique, les coûts de production au Maroc étant bien moindres. Face à cette situation, une évaluation globale de l'exploitation mondiale des ressources naturelles de *Gelidium* en vue de diagnostiquer les goulets d'étranglement qui représentent un risque pour l'industrie de gélose à *Gelidium*, est très difficile car très peu d'informations publiées sont disponibles sur le sujet (Santos & Melo, 2018).

Dans le cadre d'une évaluation plus générale de la répartition mondiale des algues commerciales, McHugh (1991) a publié une estimation de la récolte mondiale de *Gelidium* basée sur des statistiques gouvernementales et/ou des informations reçues de l'industrie, des universités ou des organismes gouvernementaux. À l'époque, environ 50 % des débarquements mondiaux de *Gelidium* provenaient de l'Espagne, du Portugal et du Maroc ; le Japon et la Corée du Sud contribuaient à environ 14% chacun, le Mexique à 10 %, et des quantités substantielles ont également été recueillies en Indonésie (environ 7 %). Plus tard, Melo (1998) a présenté une analyse détaillée de l'exploitation des *Gelidium spp.* en Espagne, au Portugal et au Maroc, et a conclu qu'au cours des années 1990, les débarquements ont diminué au Portugal (en moyenne sur 1995-1997, 670 t/an) et ont augmenté en Espagne et au Maroc (respectivement sur 1994-1996, 5200 t/an et 6950 t/an) (Melo, 1998). Une petite série de données de 1990 à 1996 existe également pour la récolte de *Gelidium pristoides* en Afrique du Sud. Melo (1998) a également rapporté qu'au Japon, la récolte de *Gelidium* avait cessé, en grande partie en raison des faibles prix des agarophytes importés. Au Mexique, il y avait eu une diminution de 66 % des débarquements et aucune donnée existait pour la Corée du Sud.

Les algues appartenant au genre *Gelidium* constituent l'une des sources principales pour la préparation de l'agar-agar soit 44 % de la production mondiale après *Gracilaria* qui constitue 53 % de la production mondiale (Marinho-Soriano & Bourret, 2003). Dans ce contexte, différentes espèces de *Gelidium* comme *G. sesquipedale* (= *G. corneum*, dans la péninsule ibérique et au Maroc), *G. pristoides* en Afrique du Sud, *G. robustum* au Mexique, *G. amansii* au Japon et d'autres espèces vivant au Chili font l'objet de collectes naturelles et de certains essais de culture en mer, comme en Espagne, avec des tonnages collectés très différents selon les pays (Melo, 1998).

1.3.2.2 Principaux pays producteurs

1. Situation en Asie

Au Japon, l'espèce récoltée la plus importante a été *Gelidium amansii* même si d'autres espèces comme *G. elegans* l'ont été également (Fujita et al., 2006). Les algues sont récoltées à la main dans l'intertidal ou avec des râteaux dans les zones subtidales peu profondes (Fujita et al., 2006). Les premières données disponibles sur les débarquements remontent à 1912. Les débarquements ont augmenté constamment jusqu'à environ 15.000 t/an au début des années 1940. Durant la seconde guerre mondiale, le *Gelidium* japonais était la principale source mondiale de matière première pour l'agar. Aucune donnée n'est disponible à la fin des années 1940. Durant les années 1950 à 1970, les débarquements se sont à nouveau portés à des niveaux élevés. Le volume des débarquements est resté relativement constant jusqu'aux années 1970, de l'ordre de 16200 t/an. Depuis, et jusqu'au milieu des années 2000, il n'a cessé de diminuer jusqu'à atteindre 3000 t/an. Il n'existe

plus de données officielles plus récentes. Le rendement en gélose industrielle de la production japonaise avait atteint environ 19 % (Santos & Melo, 2018).

Gelidium amansii a été la principale espèce récoltée en Corée du Sud, mais d'autres espèces ont également été récoltées en moindre quantité (Lee et al., 2011 cit. (Santos & Melo, 2018)). Les données de débarquement sont aléatoires et très variables probablement en raison de déclarations soit en poids sec soit en poids humide. En fait, les données disponibles en poids sec dans les années 1990 et 2000 sont d'environ 2900 t/an, ce qui correspond à environ 8000 t/an en poids humide [Données FAO, 2016 cit. (Santos & Melo, 2018)]. Une tendance globale à l'augmentation des débarquements était observée de 1950 à 1990 suivie depuis par une tendance à la baisse. Le rendement en gélose industrielle de la production coréenne avait atteint environ 19 %. À Taïwan, les débarquements de *Gelidium* existent depuis 1961 et se sont maintenus dans les années 1960 autour de 300 t/an avant de décroître dans les années 1970 puis remonter jusqu'à un pic en 1985 de 700 t/an. Ils ont diminué jusqu'à des niveaux résiduels actuels d'environ 25 t. La principale espèce récoltée sur les côtes est *G. amansii*. Elle a également été cultivée dans des étangs, mais ne l'est plus actuellement.

Des quantités conséquentes de *G. latifolium* ont été récoltées en Indonésie (Soegiarto 1990), cueillies soit à marée basse à la main soit en plongée en eau peu profonde, mais les données de débarquement sont inaccessibles. McHugh (1991) a estimé qu'environ 1400 t/an de poids sec sont récoltées sur une vaste superficie, de la côte sud de Java, dans les îles entre Java et Timor, à Sumatra, et dans plusieurs régions au nord et à l'est de Timor. Porse et Rudolph (2017) estiment que 4000 t (2009) et 3500 t (2015) de poids sec de *Gelidium* proviennent de l'ensemble des pays comprenant le Japon, la Corée du Sud et l'Indonésie.

2. Situation en Amérique

Au Mexique, *Gelidium robustum* a été récolté le long de la côte centrale de Basse Californie par des plongeurs hooka opérant à partir de petites embarcations depuis 1955. Les données accessibles comprennent d'autres algues rouges, agarophytes et carragénophytes, qui dans le cas du Mexique sont une fraction importante de la récolte. Une augmentation des débarquements correspondant à l'évolution de la pêche a été observée de 1955 jusqu'à un pic en 1967 à 4500 t/an. Cette évolution a été suivie d'un déclin au début des années 70, avec un rebond à 9200 t/an à la fin des années 1970. Les débarquements se sont maintenus dans les années 2000 à environ 3300 t/an. Mais les années 2010 ont vu les débarquements diminuer à environ 1000 t/an. Les quelques données disponibles sur les exportations d'agar, de 1990 à 1992, indiquent que le rendement industriel de l'agar de *G. robustum* était d'environ 16 %, ce qui est semblable au rendement de l'agar provenant de *G. corneum* dans l'Atlantique Nord-Est (17-20 %) bien que certains industriels l'estiment plutôt à 10-12 % (Santos & Melo, 2018).

Trois espèces de *Gelidium*, *G. lingulatum*, *G. chilense* et *G. rex*, sont récoltées à la main dans la zone intertidale au Chili. Les rapports publiés indiquent que les débarquements dans les années 1980 et au début des années 1990 étaient de 400–500 t/an (McHugh, 1991 ; Avila et Seguel, 1993). L'exploitation des *Gelidium* s'est maintenue avec un pic dans les années 1974 et 1975. Les débarquements ont diminué depuis les années 1990 jusqu'à aujourd'hui, à environ 80–100 t/an. Certaines données montrent des tonnages d'agar importants dans les années 2000 mais ils semblent essentiellement dus à *Gracilaria spp.* et non aux espèces indigènes de *Gelidium*. *Gelidium serrulatum* a été récolté sur la côte nord de Trinidad et Tobago par les communautés locales. La récolte, effectuée principalement au mois d'août, s'est raréfiée ce qui a motivé le développement d'un projet de gestion locale soutenu par les Nations Unies.

3. Situation en Afrique

La récolte commerciale des espèces de *Gelidium* (*G. pristoides*, *G. abbotiorum*, *G. pteridifolium* et *G. capense*) a été entreprise en Afrique du Sud depuis au moins 1957. La quasi-totalité de la production a été exportée au Japon et en Corée (Anderson et al. 2003). Les débarquements depuis la fin des années ont décliné pour passer d'environ 800 t/an à 500 t/an actuellement. D'autres pays pratiquent également la récolte de *Gelidium*. La récolte commerciale de *G. madagascariense* appelé plus récemment *Orthogonacladia madagascariense* a été signalée sur la côte sud-est de Madagascar depuis le début des années 1980 (Mollion 2006 cit. Santos & Melo, 2018). La collecte est réalisée principalement à la main pour les algues-épaves bien qu'environ 10% soit effectué par des plongeurs en apnée. Les récoltes étaient toutes exportées au Japon et ont atteint un sommet de 900 t en 2000, puis ont décliné et l'activité s'est totalement arrêtée.

Au Maroc, l'exploitation du *Gelidium* a débuté à El Jadida en 1949, surtout pour l'espèce *G. sesquipedale* (= *G. corneum*) qu'on trouvait en abondance rejetée en épave par la mer ou sur les rochers du médiolittoral. *G. corneum* est récolté au Maroc depuis les années 1950 : dans l'intertidal, principalement par les femmes, les enfants et les personnes âgées qui récoltent les algues-épaves amenées par les tempêtes, dans les eaux peu profondes par des hommes en apnée et une bouée en surface et dans le subtidal plus profond par des plongeurs de narguilé opérant à partir d'embarcations (Givernaud & Mouradi 2006). Lors des périodes de récolte, ce sont quelques milliers de riverains démunis et quelques centaines de barques qui charrient une biomasse algale avoisinant les 14000 tonnes générant ainsi un chiffre d'affaires dépassant les 30 millions dirhams (1 € = 11 drhs). Les débarquements annuels déclarés ont été relativement stables au cours des années 1990, puis a eu lieu une augmentation importante jusqu'à un maximum de 44 000 t en 2006 mais ensuite une diminution de moitié de la production a été constatée. Le rendement industriel moyen de *G. corneum* est d'environ 17 % (Santos & Melo, 2018) bien que d'autres auteurs estiment qu'il avoisine les 25 à 30% du poids sec (Sabour, 2012 cit. (Chiheb et al., 2018)). *G. corneum* est la seule espèce de la flore marine marocaine, que la loi essaye de protéger de l'intense exploitation globalement destructive. L'exploitation du *G. corneum* pour l'extraction de l'agar a considérablement augmenté dans les années 2000, ce qui a conduit à un épuisement des gisements de cette espèce. Entre 1999 et 2004, le littoral marocain a perdu plus de 40% de ses réserves (Chiheb et al., 2018). Des essais de culture *in vitro* du *Gelidium* ont donné quelques résultats prometteurs avec l'obtention de plantules avec des rhizoïdes et des pousses (Chiheb et al., 2018). La surexploitation de *Gelidium spp.* au Japon (Fujita et al., 2006) et au Maroc a considérablement diminué les débarquements de *Gelidium spp.* avec des conséquences potentiellement dévastatrices pour la production d'agar de qualité microbiologique (Buschmann, et al., 2017).

4. Situation en Europe

Gelidium corneum est récolté au Portugal depuis la seconde guerre mondiale. La récolte par des plongeurs opérant sur de petites embarcations a commencé seulement au début des années 1960 (Santos et Duarte, 1991). Dans les années 1960, un autre agarophyte, *Pterocliadiella capillacea*, a commencé à être récolté dans l'archipel des Açores. Les débarquements nationaux ont augmenté de façon constante jusqu'au début des années 1970, puis ont diminué à la fin des années 70 et au début des années 80 principalement sur le continent probablement en raison de contraintes socio-économiques liées à la fin de la dictature en 1974, et augmenté à nouveau à la fin des années 1980 et au début des années 1990. Par la suite, l'exploitation des agarophytes a diminué continuellement jusqu'à atteindre des niveaux très bas. Actuellement, la récolte n'est plus opérée que dans une seule des six zones géographiques auparavant exploitées. Le rendement moyen en gélose industrielle est d'environ 17 % (Santos & Melo, 2018).

Gelidium spp. se rencontrent le long de la côte du nord de l'Espagne, dans les provinces des Asturies, de la Cantabrie, du Pays Basque (Euskadi) et de la Galice (Sosa et al., 2006 cit. Santos & Melo, 2018). L'exploitation du *Gelidium* a commencé dans les années 1940 en Espagne et a atteint un sommet à la fin des années 1980 à environ 10000 t par an (Fernandez, 1991). Le *Gelidium*, exploité sur la côte Nord-Atlantique espagnole est traditionnellement recueilli à partir de collecte sur la plage d'algues-épaves (Juanes & Borja, 1991). Cette méthode représente environ 90 % du total des débarquements. La biomasse de *Gelidium* sur la plage est récoltée avec des moyens traditionnels, râteaux et fourches, et plus récemment avec des râteaux tirés par des tracteurs. La récolte du *Gelidium* subtidal est effectuée à partir d'un navire, en plongée, et principalement dans la Province des Asturies (Juanes et Sosa, 1998 cit. (Araújo et al., 2021)). En Euskadi, les plongeurs ont pratiqué la récolte sous-marine uniquement dans les années 1970 et 1990 (Borja et al., 2013). Au début des années 1990, 10 bateaux exploitaient le *Gelidium* dans les Asturies, 3 en Cantabrie, et 2 en Euskadi. Dans les années 2000, 18 bateaux opéraient dans les Asturies et 10 en Cantabrie. La production de certaines espèces est limitée à des régions géographiques particulières. C'est le cas de la récolte d'agarophytes (*G. corneum* et *Pterocliadiella capillacea*) dans la Péninsule ibérique (centre-sud du Portugal, archipel des Açores et le nord de l'Espagne) qui représentaient environ 5000 tonnes en 2018 (ces valeurs peuvent être encore plus élevées étant donné que les données de certaines régions du nord de l'Espagne ne sont pas disponibles) (Araújo, et al., 2021). Comme au Portugal, la récolte de *G. corneum* en Espagne a commencé pendant la seconde guerre mondiale et a été impulsée par une pénurie d'importations du Japon, qui jusqu'alors avait été la principale source de *Gelidium* pour l'Europe et l'Amérique du Nord. Dans les années 1950, la production espagnole a atteint environ 15000 t/an de poids humide pour atteindre plus de 60000 t/an à la fin des années 1960 (Santos

& Melo, 2018). Le *Gelidium* collecté au Portugal et en Espagne, représente un volume important de la production nationale d'algues étant parmi les principaux fournisseurs de l'industrie manufacturière de l'agar-agar (Araújo, et al., 2021). Le déclin du *G. corneum* dans la péninsule ibérique ne s'est produit que dans la partie la plus orientale de la mer Cantabrique (Euskadi) entraînant une contraction de sa distribution de 7 % sur les 30 dernières années (Casado-Amezua, et al., 2019).

G. corneum est l'espèce principale observée et récoltée en Espagne, produisant des rendements d'agar de 15 à 17 % (Santos & Melo, 2018). Cependant, les changements climatiques dans ces régions peuvent affecter la croissance de *G. corneum* parce que l'espèce y rencontre ses seuils maximums de température (Voerman, Llera, & Rico, 2013). Il a été constaté que si l'irradiance dépasse 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ à 22°C, la photosynthèse de *G. corneum* diminue, ce qui peut être dépassé dans les mois d'été dans la mer Cantabrique (Torres et al., 1991). Les températures de surface de la mer dans cette région ont augmenté de 0,10 à 0,25°C par décennie depuis 1980 (Chust et al., 2022). Les macroalgues qui forment la canopée subissent d'importants changements biogéographiques en raison des changements climatiques. D'autres facteurs comme la combinaison de l'augmentation de la lumière en été et une diminution de la concentration de nutriments ont été évoqués sans pour autant que leur influence soit démontrée (Borja et al., 2018). Il est estimé que seulement 18 à 35 % du *G. corneum* détaché par l'action de la tempête atteindra la rive pour la collecte à terre (Borja, 1987). Le *G. corneum* est vendu le plus souvent brut destiné aux entreprises de transformation en Espagne qui produisent la gélose ou exporté vers d'autres pays comme le Japon, la Corée du Sud ou les États-Unis. Cependant, les réglementations locales concernant la collecte des données économiques ne sont pas toujours appliquées, ce qui entraîne des erreurs de déclaration à l'échelle régionale et internationale. La production d'agar-agar était d'environ 800 t/an pendant les années 1960 à 1980. Le rendement moyen en gélose était de 20 % (mais plus vraisemblablement de 10-12 % d'agarose de haute valeur). Actuellement, il serait d'environ 15-17 % (Santos & Melo, 2018).

1.3.2.3 Autres productions d'agarophytes

Pterocladia lucida principalement, et *Pterocladia capillacea* pour 5 % des débarquements, ont été récoltés à la main en Nouvelle-Zélande depuis 1943, principalement le long des côtes de Wairarapa (Booth et Cox, 2003). En 1944, la récolte était de 150 t puis au cours des années 1970, elle était en moyenne de 109 t/an (Luxton et Courtney, 1987). Dans les années 1980, elle était faite principalement à partir d'algues-épaves (69-75 %) alors que 25 à 31 % ont été arrachés sur l'intertidal ou en plongée (Luxton et Courtney, 1987). Schiel et Nelson (1990) ont enregistré une production de 250 t/an, et les débarquements ont été stables depuis. Une usine de transformation moderne de *Pterocladia* existe depuis 2011 et une nouvelle installation de traitement des algues a été ouverte début 2017.

La prospection d'agarophytes en Inde a commencé pendant la seconde guerre mondiale et a produit une industrie artisanale basée principalement sur *Gelidiella acerosa* qui a donné des agars de catégorie bactériologique / pharmaceutique alors que d'autres agarophytes ont été utilisés pour l'alimentation (Baby Ushakiran et al., 2014). Les récoltes annuelles de *G. acerosa* dans le golfe de Mannar entre 2003 et 2012 atteignaient 1100 à 1500 t, soit environ 50 à 90 t d'agar (Ganesan et al., 2014). *G. acerosa* est également abondant dans certaines régions des Philippines (Rollon et al., 2003 cit. Santos & Melo, 2018) et en Thaïlande (Fujimoto et al., 2014), mais les renseignements sur les récoltes sont indisponibles.

1.3.3 Contexte national

En septembre 2019 sortait le plan de filière français des produits de la pêche maritime, de la pisciculture et de la conchyliculture. Les algues, et en particulier les macroalgues, qui sont une composante importante de l'aquaculture mondiale, y étaient peu représentées. Au 1er mars 2022, le « plan d'aquacultures d'avenir : une nouvelle étape pour la filière aquacole française » proposait « de fixer un objectif de production, toutes filières (algales) confondues, à 1000 tonnes d'ici à 2027 », sur la base du constat des 375 tonnes d'algues d'algoculture (en poids frais) en 2019 (macroalgues/spiruline/microalgues représentant un tonnage commercialisé respectivement de 150 tonnes/200 tonnes/24 tonnes) pour une valeur de 8,4 millions d'euros (CEVA.blog, 2022).

Depuis plusieurs mois, les représentants des professionnels des différentes filières de l'algue en Bretagne puis étendu aux autres régions, se sont rassemblés autour de la table, afin que puissent remonter les enjeux et besoins de leurs filières pour qu'à terme puisse être construit un plan de filière macroalgue national. Se sont joints aux

professionnels quelques acteurs académiques (SBR, Agrocampus) et le centre technique national dédié aux algues (CEVA). Les principaux objectifs visés par ce plan qui devrait être validé en 2023 sont de :

- Fédérer le réseau et générer et répartir (de) la valeur aussi bien pour l'amont que pour l'aval, sécuriser les productions ;
- Stimuler le développement économique local : réponse à des opportunités de marché et recherche de nouveaux débouchés, amélioration de la qualité des produits, de la sécurité des aliments, optimisation des performances techniques ;
- Anticiper, s'adapter et créer de nouvelles opportunités, accroître les capacités d'innovation et de prospective (prise en compte des attentes sociétales, adaptation au changement climatique, ...) ;
- Construire ensemble, *in fine*, un texte commun et s'appuyer sur des objectifs partagés établis sur plusieurs années, qui représentera un socle de référence (Plan d'actions d'une durée de 3-4 ans à horizon 2027, ayant un impact direct sur les acteurs et les entreprises, et comportant des investissements collectifs ou individuels).

Sur environ 60000 tonnes d'algues produites annuellement (hors Maërl et Gelidium), 50 tonnes proviennent de l'aquaculture, le reste étant récolté à l'état sauvage sous forme de goémons poussant en mer, goémons de rive ou goémons épaves (Gelidium). La quasi-totalité de la production française vient de Bretagne (excepté le Gelidium récolté au Pays basque et des algues issues d'une entreprise aquacole vendéenne). Environ 85 % des usines de transformation de macroalgues sont localisées dans cette région (Agrocampus Ouest, 2011).

1.4 Objectifs du projet Gelidium 64

Les objectifs de ce projet se basent sur l'exploitation de données collectées au cours d'une campagne scientifique dédiée au Gelidium : prélèvements, mesures *in situ*, imagerie.... Les données ainsi collectées seront aussi mises en relation avec les facteurs environnementaux qui interagissent en zone côtière et reconnus comme influents sur le développement des communautés algales : bathymétrie, distance à la côte, distance aux émissaires, énergie des vagues ... ainsi que les données d'exploitation. Certains prélèvements sont analysés pour évaluer les propriétés biochimiques du Gelidium selon sa localisation. Les 4 grands axes ciblés sont :

1. Caractériser les champs de Gelidium sur la côte basque du point de vue de leur densité et de la hauteur de la canopée. Un échantillonnage biologique en scaphandre autonome est prévu pour la collecte de ces données permettant une mise en perspective avec les données historiques à disposition (1998 et 2003) pour voir s'il est possible de dégager une tendance de l'évolution de cette population entre l'année considérée et les données historiques ; la variabilité interannuelle ne pourra pas être considérée en raison de l'absence d'autres données sur la période ;
2. Visualiser la répartition du Gelidium à l'échelle de la zone principale de colonisation, à l'aide d'un drone sous-marin afin de connaître qualitativement (présence/absence) l'étendue des champs de Gelidium. Cet outil permet aussi de caractériser les habitats présents (roche mère, éboulis, étendue de sable...). Ces observations visent à compléter les informations collectées en plongées (ponctuelles mais plus précises) et permettent de définir des zones potentiellement colonisables ; un lien est établi entre ces zones de colonisation et les conditions environnementales à une échelle spatiale plus fine intra-côte basque.
3. Évaluer la qualité du Gelidium prélevé d'un point de vue biochimique (propriétés moléculaires d'intérêt des algues en place suivant leur localisation géographique et bathymétrique), de l'épiphytisme (biodiversité associée), en considérant le jaunissement des rameaux et la présence de dinoflagellées toxiques (*Ostreopsis* spp) et/ou de la présence de mucilage marin (liga). Dans le cas de l'épiphytisme, ce dernier peut, en effet, avoir un effet positif et/ou négatif : augmentation de la production primaire, diminution de la croissance de l'hôte et de la fertilité des rameaux (baisse de luminosité et en augmentation de la compétition trophique) et modification des propriétés physico- et biochimiques de l'algue.
4. Caractériser l'activité de récolte actuelle du Gelidium et son historique à partir d'un état des lieux de la filière.

Les axes 1 à 3 font l'objet d'actions pilotées et réalisées par l'Ifremer et l'UPPA ; l'axe 4 est opéré par CAPENA.

2 Matériels et Méthodes

2.1 Présentation du site d'étude

2.1.1 Localisation au sein de la zone Natura 2000

Le domaine marin du Pays basque est marqué par une plateforme récifale constituée de deux entités côtières : (i) une frange rocheuse dans le domaine infra et circalittoral et (ii) la présence de récifs circalittoraux au large formant un arc de cercle entre Biarritz et Hendaye (Fig. 4) d'environ 3 km de large et bordés de falaises d'une hauteur pouvant atteindre 22 m (Augris et al., 2009). Ces récifs sont séparés du littoral par la présence d'une zone d'accumulation de sédiments de granulométrie variable. Ces zones de récifs occupent une superficie de 40 % de la surface connue (Fig. 4) et constituent un intérêt biogéographique pour la faune de France (de Casamajor et Lalanne, 2016). La quasi-totalité de cet espace géographique (excepté au droit de la baie de Saint-Jean-de-Luz) est classée en zone Natura 2000 - FR7200813 « Côte Basque rocheuse et extension au large » (Fig. 1 & 2). Ces zones de récifs représentent les zones potentiellement colonisables par *Gelidium corneum*.

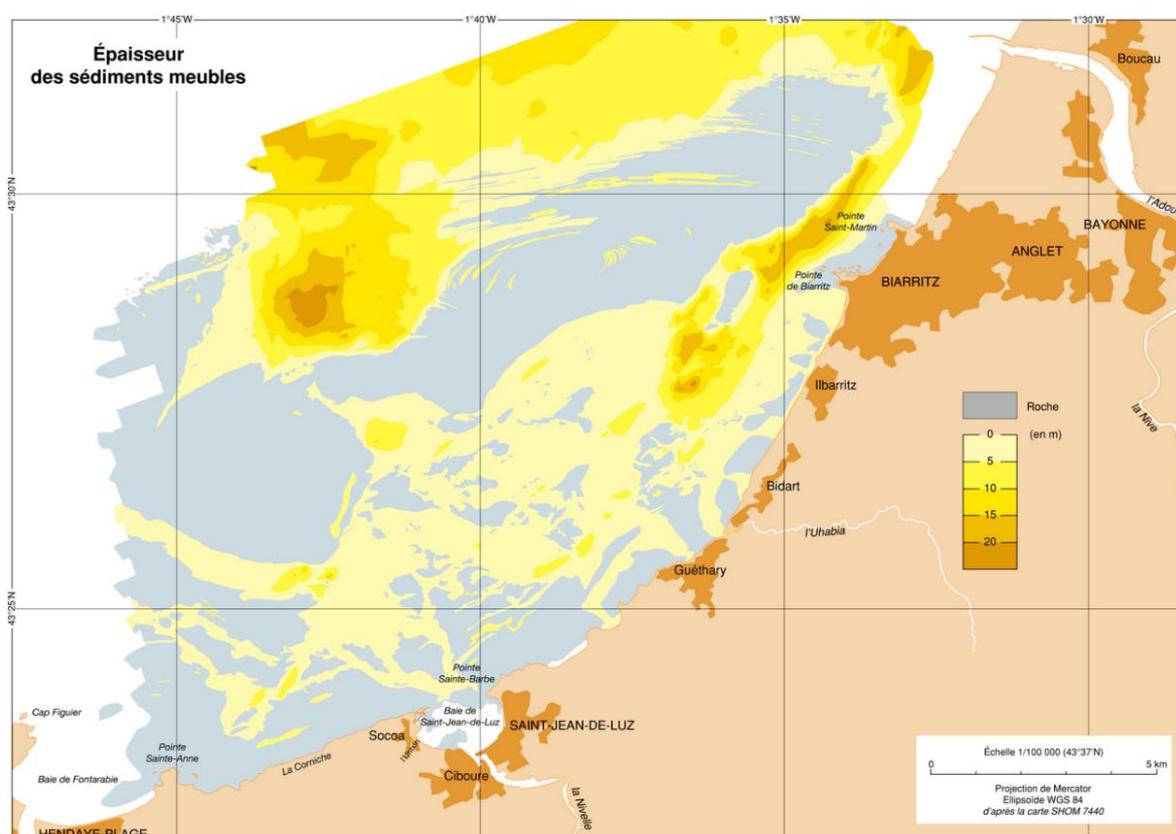


Figure 4. Emprise des zones rocheuses de la côte basque (Source : Augris et al., 2009).

2.1.2 Caractérisation des conditions environnementales

Contexte géomorphologique. La géomorphologie des faciès rocheux est un facteur important à considérer car il influence la répartition et la densité des champs de *Gelidium*. La zone sud entre Hendaye et Socoa se distingue par un profil homogène et rectiligne alors que la zone nord, entre Guéthary et Saint-Jean-de-Luz est hétérogène, la zone rocheuse est interrompue par des anses composées de substrats meubles grossiers : Mayarco, Lafiténia, Erromardie... moins favorables au développement du *Gelidium* mais qui constituent des zones d'accumulations des algues épaves. Cette alternance de baies témoigne d'une instabilité géologique avec des zones d'altérites (Genna et al., 2004) avec une accumulation de blocs, témoignage d'une érosion importante. Ces deux secteurs se distinguent également par rapport à l'orientation des couches géologiques et à celle des houles dominantes : parallèle au sud et perpendiculaire au nord.

Hydrodynamisme - Les deux composantes qui conditionnent l'hydrodynamisme sont les marées et la houle. Les conditions de marées sur la côte basque sont qualifiées de mésotidales et semi-diurnes (période 12h25). Le marnage le plus faible observé sur l'ensemble des côtes du golfe de Gascogne est un marnage en moyenne de 2,75 m (max 4,78 et min 0,88 m) pour la zone de Saint-Jean-de-Luz (Dodet et al., 2019). Les courants générés par la marée sont considérés comme faibles (Augris et al., 2009) et sont compris entre 2,5 à 7,5 cm.s⁻¹. Dans le cadre de la campagne d'échantillonnage, les prédictions de marées prises en compte sont celles fournies par le site du Shom (port de Saint-Jean-de-Luz) : <https://maree.shom.fr/harbor/SOCCA/>

2.1.3 Présentation de la filière

La récolte de cette algue constitue une activité spécifique du port de St Jean-de-Luz / Ciboure depuis 1995 (Fig. 5). Si elle n'était qu'un complément d'activité pour les petits ligneurs autrefois, elle est aujourd'hui une activité à part entière. La collecte des algues dépend pour beaucoup des conditions océano-climatiques qui vont exercer une influence considérable sur le décrochage des algues et seules les algues dans la colonne d'eau peuvent être récupérées par les navires. Le CIDPMEM 64-40 a développé un indice tempête (= hauteur de houle moyenne x vitesse maximale du vent). Lorsque l'indice est trop bas, il ne permet pas le décrochage des algues, lorsqu'il est trop haut, les bateaux ne peuvent pas pêcher.



Figure 5. Navires luziens en campagne de pêche au *Gelidium* (crédit photo : P. Fossecave,/CAPENA)

Les conditions d'exploitation sont strictement réglementées, en premier lieu par l'Arrêté préfectoral du 8 juillet 1995 qui stipule que :

- La pêche est autorisée du 15 septembre au 31 mai du lundi au vendredi inclus, de 7h à 18 h ;
- La pêche est autorisée y compris dans la zone des 3 MN ;
- L'arrachage, la coupe et le pompage sont interdits ;
- Il est autorisé un seul engin tracté de type drague constitué d'un cadre métallique de 4,5 x 1,5 m de dimensions auquel est fixée une poche en filet de maillage égal ou supérieur à 90 mm, sans dents, lames ou chaînes de dragage mais possiblement avec patins ;
- Les navires doivent être à jour de leur visite de sécurité intégrant cette activité.

Par ailleurs, cet arrêté est complété par l'Arrêté préfectoral du 7 janvier 1995 qui rend obligatoire la délibération n°2014-19 du 19 décembre 2014 du Comité Régional des Pêches Maritimes et des Élevages Marins d'Aquitaine qui crée et fixe les conditions d'attribution de la licence de pêche des algues rouges après

avis du CIDPMEM 64-40. Cette licence “algues rouges” est attribuée à un armateur pour l’exploitation d’un navire donné. Pour être éligible, l’armateur doit :

- Être actif au fichier de flotte communautaire ;
- Détenir une licence de pêche communautaire ;
- Exercer l’activité de pêche maritime à titre principal, soit justifier d’un temps de navigation d’au moins neuf mois pendant les douze derniers mois précédant la date de dépôt de la demande compte tenu des périodes de maladie, d’invalidité et d’arrêts techniques éventuels ;
- Être à jour des cotisations professionnelles obligatoires dues aux différents comités, au jour du dépôt de dossier de demande (hors premières installations) ;
- Être à jour de ces déclarations statistiques de captures obligatoires ;
- Avoir pratiqué la pêche des algues rouges au moins pendant une année au cours des dix dernières années précédant l’année dont fait l’objet la demande (navire ou armateur).

La licence est attribuée annuellement et est valable du 1^{er} septembre au 31 août de l’année suivante. À la demande du CIDPMEM 64-40, le nombre de licences est contingenté à 20 afin de maîtriser l’accès à cette ressource (Arrêté préfectoral annuel).

2.2 Plan d’échantillonnage

Afin de diminuer le risque de biais et d’augmenter la précision, la zone d’étude a été partagée en différentes zones bathymétriques homogènes. De plus, des niveaux élevés d’irradiance (ensoleillement) pouvant engendrer des conditions environnementales stressantes (Quintano et al., 2018), nous avons donc supposé que la profondeur pouvait constituer un bon proxy pour l’intensité de la lumière. Ainsi, la variable de stratification considérée est le niveau bathymétrique qui est discrétisé en 2 modalités : -3 et -8 m. Un plan d’échantillonnage stratifié permet de diminuer la variance due à ces facteurs (Cochran, 1977).

Ce plan d’échantillonnage est identique à celui mis en place initialement pour estimer le stock d’oursin commun de la côte basque (projet ARISTOT) (de Casamajor et al., 2014 ; Fig. 6). Les stations échantillonnées depuis 2008 dans le cadre de la DCE ont également été intégrées au plan d’échantillonnage ainsi que les stations Micropolit des émissaires en mer (de Casamajor et al., 2017 ; Huguenin et al., 2019) dans le but de valoriser au maximum les données existantes.

Au sein de cette configuration, ce travail se focalise uniquement sur la frange rocheuse du domaine infralittoral où se développe la ressource en *Gelidium* sur la côte basque. La houle au fond du golfe de Gascogne ne rencontre aucun obstacle à sa propagation, elle est ainsi très énergétique (Augris et al., 2009 ; Abadie et al., 2005 ; Alexandre et al., 2003) et les habitats investigués peuvent être qualifiés au sens de la classification EUNIS comme des habitats « sous fort hydrodynamisme » (Davies, 2004). Il existe cependant une variabilité saisonnière de l’occurrence de ces périodes de fortes énergies. Ainsi la campagne s’est déroulée d’une part au cours de la période où la probabilité d’occurrence est la plus faible ainsi qu’au moment où les champs de *Gelidium* sont bien développés après le printemps. La zone d’investigation correspond également à la zone principale de colonisation du *Gelidium* qui est aussi la zone de déferlement de la houle à une bathymétrie comprise entre le 0 et le - 10 m des cartes marines (CM : 0 du SHOM) (Fig. 6).



Figure 6. Localisation des transects ciblés pour l'échantillonnage du *Gelidium*.
 Les points représentent les stations -3 m et -8 m.

2.3 Caractérisation des champs de *Gelidium*

La campagne s'est déroulée essentiellement en juin et juillet 2022 sur des créneaux de travail identifiés comme les plus favorables pour l'acquisition de données de qualité : agitation du milieu, visibilité... En raison des contraintes océano-climatiques, deux jours de campagne ont dû être reportés en septembre 2022.

Les investigations ont été réalisées en scaphandre autonome et par drone sous-marin. Sur 26 transects définis initialement dans le plan d'échantillonnage, 15 transects ont été investigués par scaphandre autonome et 10 transects par drone sous-marin, soit un total de 25 transects (Fig. 7).



Figure 7. Transects prospectés par scaphandre autonome et par drone sous-marin.

2.3.1 Acquisition des données en plongée

Un bateau de type semi-rigide a été affrété pour la collecte des données en plongée en scaphandre autonome, selon la méthode des quadrats. Ces quadrats d'une superficie de 0,25 m² ont été positionnés sur deux profondeurs dites « de référence » -3 m, -8 m., correspondant à une atténuation progressive de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau, paramètre important pour assurer la photosynthèse pour les algues. Ces profondeurs ont été relevées lors des plongées avec un profondimètre fixé au poignet. Elles ont été ramenées au zéro des cartes marines en fonction de la hauteur d'eau (heure de la marée et coefficient) au moment des relevés de terrain. Le port de référence défini par le shom pour la correction des hauteurs d'eau est le port de Saint-Jean-de-Luz (Socoa) car il se localise au centre de la zone concernée par l'échantillonnage (<https://maree.shom.fr/>). Ainsi, toutes les profondeurs mentionnées dans ce rapport sont des profondeurs corrigées.

Les plongées se sont déroulées sur 12 journées, généralement au rythme de 2 plongées par jour. Le choix des sites a été fait en fonction des conditions hydrodynamiques du moment : vent, houle, heure de PM ; les petits fonds (- 3 m) étant échantillonnés en priorité dès que les conditions le permettaient. Quand les conditions d'éloignement pour passer d'une bathymétrie à l'autre le permettaient, 2 bathymétries ont été échantillonnées au cours d'une seule plongée (Tab. 1 et Tab. 2).

Tableau 1. Calendrier des plongées de prospection en scaphandre autonome (marées : source shom ; am = matin ; pm = après-midi)

Date 2022	Marée	Hauteur d'eau (m)	Coefficient de marée	Heure locale plongée	Durée (mn)
28/06 - am	BM 10 :55	1,19	66	09 :30	60
28/06 - pm	PM 17 :10	3,88	67	13 :34	58
29/06 - am	BM 11 :38	1,16	69	09 :36	72
29/06 - pm	PM 17 :44	3,91	69	13 :23	48
04/07 - am	PM 08 :33	3,58	62	09 :58	46
04/07 - pm	BM 14 :33	1,31	60	13 :00	48
05/07 - am	PM 09 :17	3,5	58	09 :05	61
05/07 - pm	BM 15 :18	1,39	56	12 :08	72
06/07 - am	PM 10 :08	3,43	54	08 :56	46
06/07 - pm	BM 16 :08	1,47	52	12 :10	46
08/07 - am	PM 12 :11	3,43	49	09 :38	60
08/07 - pm	BM 18 :10	1,49	49	13 :03	65
11/07 - am	BM 08 :55	1,12	64	09 :26	55
11/07 - pm	PM 15 :17	3,93	69	12 :30	64
12/07 - am	BM 09 :51	0,94	75	09:34	45
12/07 - pm	PM 16 :12	4,17	80	12:38	75
13/07 - am	BM 10 :44	0,78	85	08:49	45
13/07 - pm	PM 17 :03	4,38	89	12:10	50
14/07 - am	BM 11 :36	0,66	93	09:58	67
14/07 - pm	PM 17 :53	4,53	95	13 :12	54
15/09 - am	PM 08 :11	3,93	77	09:39	73
15/09 - pm	BM 14 :25	1,08	70	13:06	72
16/09 - am	PM 08 :48	3,68	62	09:38	50
16/09 - pm	BM 15 :08	1,4	54	14:15	72

Tableau 2. Transects prospectés en scaphandre autonome

Site	N° transect	Bathymétrie (m)
DCE Abbadia	T0	-3
DCE Abbadia	T0	-8
Aristot 2	T2	-3
Aristot 2	T2	-8
Aristot 4	T4	-3
Aristot 4	T4	-8
Aristot 5	T5	-3
Aristot 5	T5	-8
Aristot 7/Step Urrugne	T7	-5
Aristot 7/Step Urrugne	T7	-8
Aristot 9	T9	-5
Aristot 9	T9	-8
DCE Socoa/ Aristot 12	T12	-3
DCE Socoa/ Aristot 12	T12	-8
Aristot 13	T13	-3
Aristot 13	T13	-8
Aristot 14	T14	-5
Aristot 14	T14	-8
Aristot 15	T15	-3
Aristot 15	T15	-8
Aristot 17/ Step Guéthary	T17	-3
Aristot 17/ Step Guéthary	T17	-8
Aristot 19	T19	-3
Aristot 19	T19	-8
Aristot 22	T22	-3
Aristot 22	T22	-8
Aristot 24	T24	-3
Aristot 24	T24	-8
DCE Alcyons S	T25	-3
DCE Alcyons S	T25	-8

Pour chaque bathymétrie de chaque transect, les plongeurs procédaient à l'acquisition de données permettant de caractériser au mieux l'habitat et le recouvrement des champs de *Gelidium* :

- 5 quadrats de 0,25 m² ont été positionnés sur les champs de *Gelidium*. Sur chacun de ces quadrats ont été notés :
 - o des descripteurs globaux du quadrat :
 - o Le % de recouvrement en classes (< à 5 , [5 à 25[, [25 à 50[, [50 à 75[et de [75 à 100]) qui est ensuite parfois décrit avec la médiane de la classe ;
 - o La hauteur moyenne de la canopée (en cm) ;
 - o Le nombre de pieds ;
 - o des descripteurs individuels de chaque pied :
 - o la hauteur (en cm) ;
 - o Le % de jaunissement qui permet de déterminer la présence ou non de façon plus qualitative d'un jaunissement du pied;
- La totalité des pieds a été prélevée sur un quadrat de 0,25 m², les pieds ont été sectionnés à la base à l'aide d'une cisaille (car plus favorable à la repousse que l'arrachage). Ce prélèvement a été rincé à

l'eau douce et tamisé (tamis Ø 1 mm). Sur cet échantillon, ont été récupérés pour identification en laboratoire :

- La petite faune associée aux champs d'algues, conservée dans de l'Éthanol à 95 % (principalement mollusques et petits crustacés) ;
- Les épiphytes, congelés à - 20°C, qui permettent de fournir une idée de la biodiversité associée (faune et flore). Ils ont ensuite été séchés pour définir la biomasse et calculer le rapport de la biomasse Gelidium/biomasse des épiphytes.

Les pieds de Gelidium ont ensuite été séchés puis pesés pour obtenir la masse sèche (en gramme). Ils ont ensuite été conservés pour une analyse biochimique réalisée par la chaire MANTA (Marine Materials) de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

- Un minimum de 10 quadrats photos sur un cadre de 0,1 m² ont été réalisés aléatoirement dans le but de fournir des informations sur la géomorphologie du site et sur les communautés algales présentes. Cette information permet de mieux connaître l'habitat présent.

En parallèle, lorsque les conditions de visibilité le permettaient et que du temps était disponible en fin de plongée, des vidéos ont été régulièrement réalisées pour la diffusion de l'information vers un large public. La figure 8 permet de synthétiser l'ensemble des informations collectées.

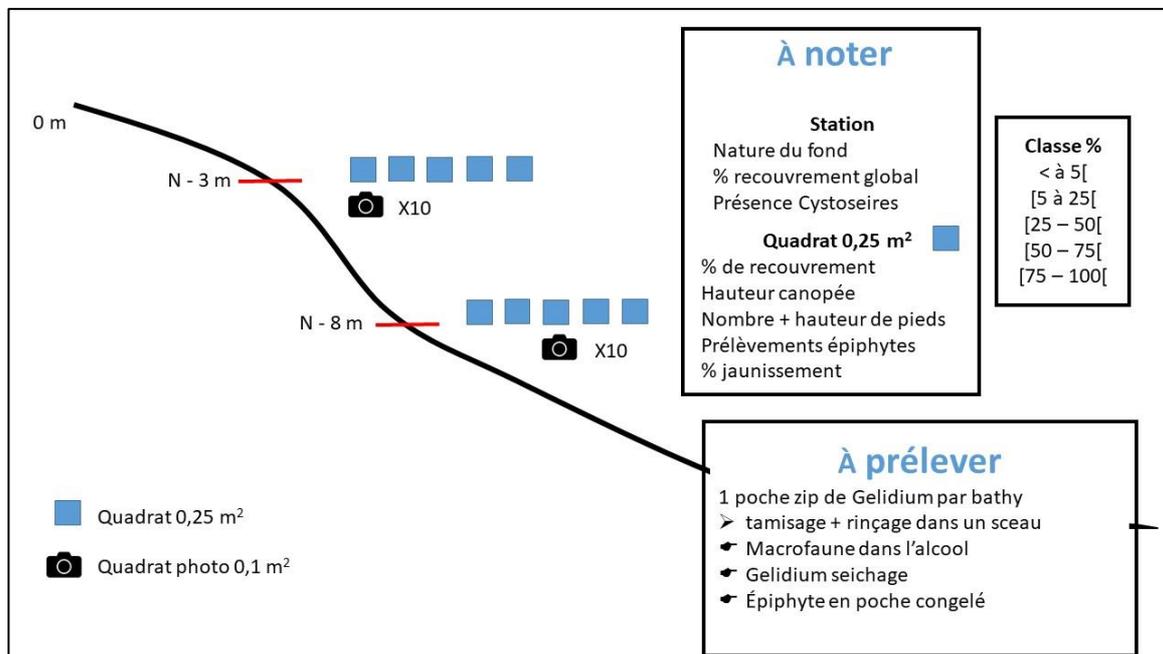


Figure 8. Représentation schématique de l'échantillonnage en plongée.

Cas particulier de l'échantillonnage d'Ostreopsis

Afin de déterminer la présence et l'abondance d'Ostreopsis en fonction de la profondeur, deux transects ont été échantillonnés. Il a été décidé de prioriser les stations DCE macroalgues subtidales dans le choix des transects ainsi que leur éloignement respectif pour observer une éventuelle différence entre les deux stations (Fig. 7). Ainsi, les transects T0 Abbadia pour la partie sud et T25 Alcyons S pour la partie nord ont été sélectionnés. Cet échantillonnage ciblé a été réalisé le 11 juillet (Tab. 1). Dans ce cadre, 3 niveaux bathymétriques ont été prospectés : -1 m, -5 m et -10 m. Pour chaque bathymétrie, 3 pieds d'algue ont été prélevés ainsi qu'un échantillon d'eau de mer de 250 ml (Fig. 9). Le flacon est retourné et l'algue est délicatement glissée à l'intérieur pour éviter la perte de cellules d'Ostreopsis puis le pied est coupé et le flacon refermé. Si *Gelidium corneum* est présent, il est préférentiellement prélevé. En cas d'absence de Gelidium, notamment pour les stations les plus profondes, l'échantillonnage a ciblé *Halopithys incurva*.

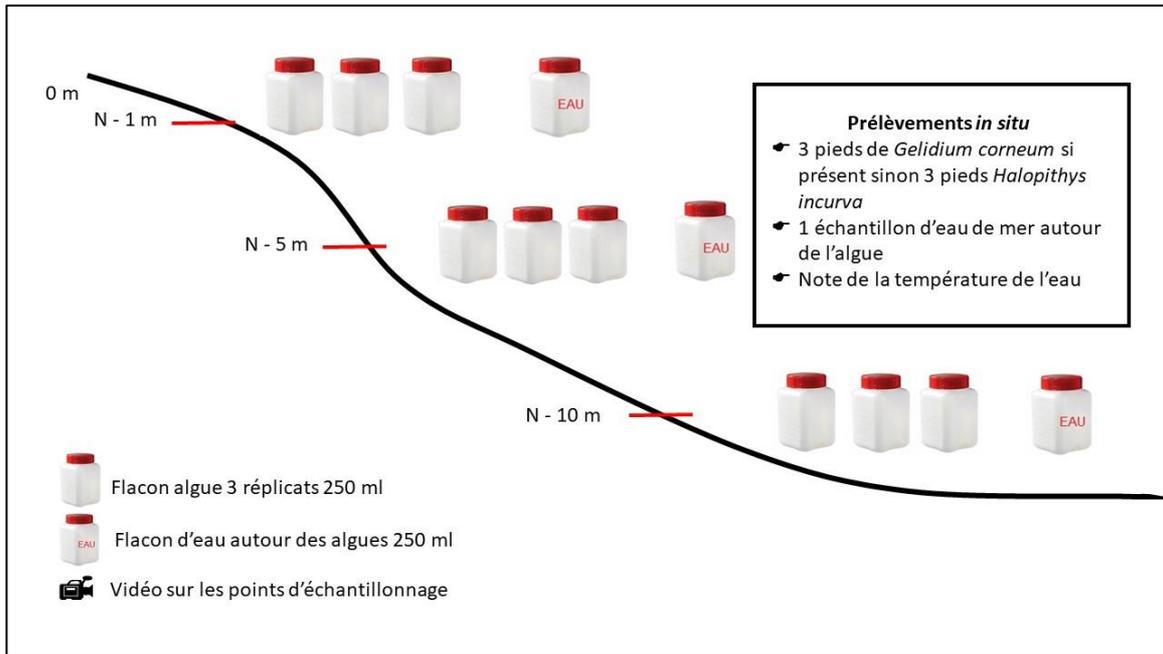


Figure 9. Représentation schématique de l'échantillonnage d'*Ostreopsis* en plongée.

Les prélèvements ont immédiatement été lugolés sur le bateau puis ont été acheminés vers le laboratoire Ifremer d'Arcachon pour être traités. Les résultats de ces analyses ne sont pas présentés dans ce rapport et seront inclus dans l'étude en cours sur l'amélioration des connaissances et suivi de l'apparition de la microalgue *Ostreopsis spp.* sur la côte basque.

2.3.2 Acquisition d'images par drone sous-marin

Pour compléter les données acquises lors des investigations en plongée, un drone sous-marin Chasing M2[®], a été déployé sur la zone d'étude afin de connaître l'étendue des champs de *Gelidium* (Fig. 10). Cet engin est équipé d'une caméra 4K d'un angle de vue de 152° avec un éclairage de 4 000 lumens (température de couleur : 5000-5500K) et d'un phare de plongée à LED blanche offrant une luminosité allant jusqu'à 12 000 lumens (température de couleur : 5000-5500K). Ses 8 propulseurs lui permettent un déplacement omnidirectionnel jusqu'à 100 m de profondeur avec une vitesse maximale de 3 nœuds. Grâce à ses batteries interchangeables de 200 Wh, il a une autonomie d'environ 3 heures avec les projecteurs allumés. Il est piloté grâce à une radiocommande et une application sur smartphone ou tablette connecté en wifi.

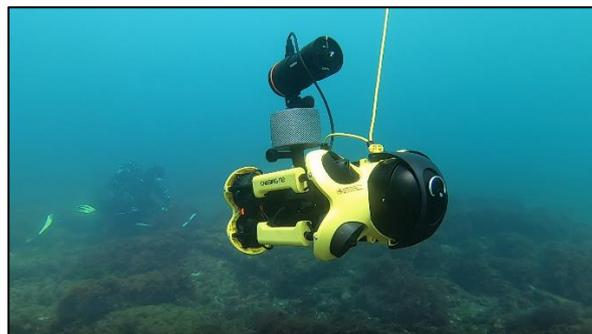


Figure 10. Drone sous-marin Chasing M2[®] avec ses accessoires et sa mise en œuvre dans l'eau © Ifremer.

Le drone était positionné à une altitude comprise entre 1 et 1,5 m au-dessus du fond et se déplaçait à une vitesse inférieure à 3 nœuds. N'étant pas équipé d'un GPS, le drone était placé à l'aplomb du bateau et les informations de position ont été enregistrées par un GPS à main (Montana 680t[®]) situé sur le bateau. Le sens de prospection du drone était du large vers la côte (Fig. 11).

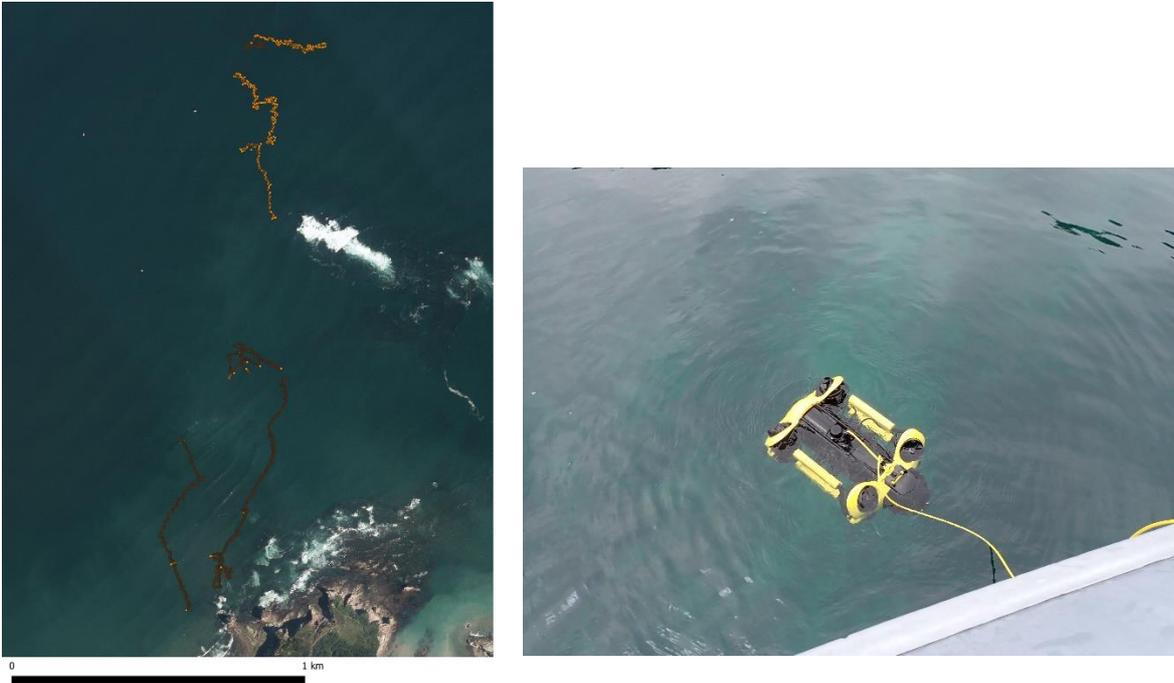


Figure 11. Trace de la position du drone sous-marin lors d'acquisition vidéo sur le site DCE Abbadia.

Les vidéos ont été acquises le long de transects dans des conditions météorologiques et océaniques propices à l'obtention d'images de bonne qualité : vent faible, houle < à 1 m (voir Tab. 6) . Un total de 10 transects a été réalisé sur cinq jours de campagne (Fig. 7 et Tab. 3). Au total, 14 vidéos ont été enregistrées, leur durée d'enregistrement varie selon les conditions de plongée (Tab. 3).

Tableau 3. Transects prospectés par drone sous-marin.

Date	Lieu/transect	Profondeur (m)	N° VIDEO	Heure enregistrement (Durée min)
23/06/2022	DCE Abbadia	13-8m	GLDS0623_092126070.mp4	09h21 - 09h53 (~33 min)
		10-5m	GLDS0623_100321369.mp4	10h03 - 11h14 (~1h12)
		8-5m	GLDS0623_112906897.mp4	11h29 - 12h01 (~32 min)
	T4 Aristot	10-5m	GLDS0623_122215739.mp4	12h22 - 12h55 (~32 min)
	DCE Abbadia Large	27-25m	GLDS0623_131310483.mp4	13h13 - 13h39 (~26 min)
08/07/2022	T18	9-5m	GLDS0708_110415180.mp4	11h04 - 11h38 (~ 34 min)
11/07/2022	DCE Abbadia	6-7m	GLDS0711_103956403.mp4	10h39 - 11h22 (~42 min)
13/07/2022	T17->T16 (// à la côte)	11-7m	GLDS0713_094512597.mp4	09h45 - 10h42 (~58 min)
18/07/2022	T23	12-4m	GLDS0718_091715845.mp4	09h19 - 09h45 (~26 min)
	T20	11-6m	GLDS0718_100048348.mp4	10h01 - 10h41 (~41 min)
	T10	10-5m	GLDS0718_111116025.mp4	11h11 - 11h32 (~21 min)
	T2	11m	GLDS0718_115623709.mp4	11h56 - 11h57 (~1 min)
		7-3m	GLDS0718_120616666.mp4	12h06 - 12h21 (~15 min)
	T6	9-3m	GLDS0718_123458516.mp4	12h34 - 12h58 (~24 min)

2.3.3 Évaluation de la composition biochimique (UPPA)

Après réception des algues au laboratoire, celles-ci ont été rincées à l'eau douce puis essorées et séchées à température ambiante et protégées du soleil pour éviter la dégradation des molécules sensibles de l'algue.

L'analyse biochimique des prélèvements a été réalisées sur deux catégories de prélèvements :

- Sur chaque prélèvement réalisé par l'Ifremer en plongée à chaque transect, à -3 m et -8 m ;
- Sur une partie de *Gelidium corneum* jaunée vs une partie non jaunée du transect 22 pour étudier l'impact du jaunissement sur la composition biochimique de la macroalgue.

Des précédents travaux réalisés au laboratoire ont permis d'identifier les paramètres optimaux pour l'extraction et le dosage des molécules de la macroalgue *Gelidium corneum*. Toutes les extractions ont été réalisées sur l'algue réduite en poudre à l'aide d'un broyeur (Planetary ball mill PM 100, Retsch GmbH), Germany permettant d'obtenir des particules de taille inférieure à 200 µm. Les molécules ont ensuite été extraites en utilisant le solvant et les paramètres d'extraction adaptés puis dosées par dosages spectrophotométriques. Chaque extraction a été réalisée en triplicata indépendants (N=3) et chaque extrait a ensuite été dosé en triplicata (n=3). Les grandes étapes sont résumées sur la figure 12.

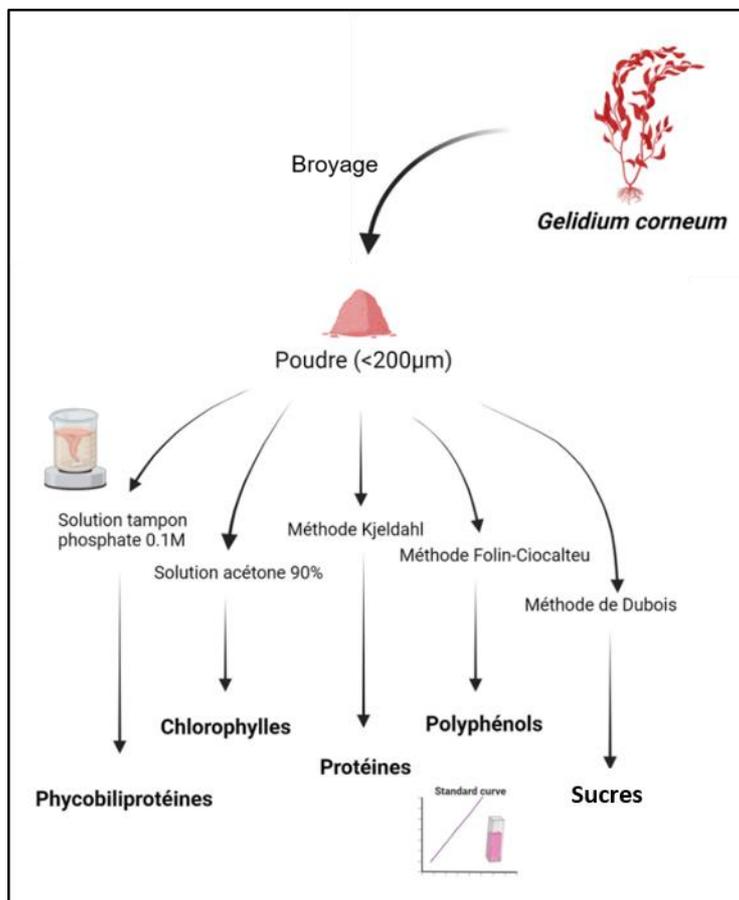


Figure 12. Représentation schématique des méthodes d'extraction et dosage de *Gelidium corneum*.

Brièvement :

- Les phycobiliprotéines ont été extraites dans une solution de tampon phosphate à 0,1M, à une température de 5°C et obscurité pendant une heure. Quatre cycles d'extraction ont été réalisés, les extraits aqueux rassemblés et analysés par spectrophotométrie. La quantité de phycobiliprotéines a été calculée comme la somme des phycocyanines et phycoérythrine (Castejón et al., 2021), les deux types majoritaires de phycobiliprotéines dans le *Gelidium*.
- Les chlorophylles ont été extraites dans une solution d'acétone 90 %, à une température de 5°C à l'obscurité pendant 16 heures. Les extraits ont ensuite été analysés par spectrophotométrie et la quantité en chlorophylle a été calculée comme la somme de la chlorophylle a et de la chlorophylle b (Osório et al., 2020).
- Les polyphénols ont été extraits dans une solution d'éthanol 50 % pendant 8 heures à température ambiante puis dosés dans l'extrait par le dosage de Folin-Ciocalteu avec une gamme étalon d'acide gallique (Tierney et al., 2013).
- Les sucres neutres ont été extraits dans une solution d'acide chlorhydrique 10 % pendant 3 heures à 90°C puis neutralisés par ajout d'hydroxyde de sodium 10%. Ils ont ensuite été dosés par la méthode décrite par Dubois et al. (1956) avec une gamme étalon de glucose.
- Les protéines totales ont été dosées par la méthode de Kjeldahl. Le pourcentage d'azote total dans l'algue déterminé par cette méthode a ensuite été multiplié par 5, facteur de conversion adapté aux macroalgues, pour obtenir le pourcentage de protéines totales (Lowry et al., 1951).

2.4 Traitement des données

2.4.1 Analyse de la production par la filière

Le CIDPMEM 64-40 et la Coopérative La Basquaise ont apporté leur concours à la suite de ce rapport. Des entretiens ont eu lieu avec Mrs Serge Larzabal et Nicolas Susperregui du CIDPMEM 64-40 ainsi qu'avec Mr Patrick Emasabal de la Coopérative La Basquaise. Par ailleurs, le CIDPMEM 64-40 produit chaque année un

bilan annuel de la campagne de récolte du *Gelidium* par les marins-pêcheurs du comité (CIDPMEM 64-40, 2023). Les données et les écrits concernant la filière pêche sont donc basés sur ces bilans. Concernant la filière des ramasseurs à terre, nous avons pu enquêter Mr Denis Artola de la société éponyme, principale collectrice de *Gelidium* à terre.

2.4.2 Analyse des échantillons collectés en plongée

Les variables étudiées concernent à la fois des caractéristiques populationnelles et des caractéristiques biochimiques des échantillons au niveau de chaque quadrat (cf. Tab. 4).

Les **variables populationnelles** sont :

Tableau 4. Description des variables populationnelles mesurées sur chaque quadrat.

Occupation spatiale du <i>Gelidium</i>	État de santé du <i>Gelidium</i>
<ul style="list-style-type: none"> - le pourcentage de recouvrement (médiane de classe ou classes) ; - la taille moyenne des pieds (H. Pied) ; - le nombre de pieds par quadrat (N. Pied). 	<ul style="list-style-type: none"> - le pourcentage moyen de jaunissement des pieds (P. Jaune) calculé en moyennant le % de jaunissement individuel au sein d'un quadrat ; - le pourcentage de pieds jaunis (P. Jaunis).
Ces variables permettent, au niveau du quadrat, de caractériser les niveaux de recouvrement à la fois par rapport à la surface occupée et en matière d'individus.	Ces variables permettent de caractériser l'importance du jaunissement (caractéristique d'une dégradation de l'état de santé du <i>gelidium</i>) à la fois en matière de niveau de pieds touchés au sein du quadrat et également en niveau d'intensité de jaunissement à l'échelle de l'ensemble des pieds du quadrat.

Ces variables ont été considérées à l'échelle des quadrats (Tab. 5). Lorsque l'échelle utilisée était la station, les variables ont été agrégées pour aboutir aux variables suivantes :

Tableau 5 Description des variables populationnelles agrégées sur chaque station.

Occupation spatiale du <i>Gelidium</i>	État de santé du <i>Gelidium</i>
<ul style="list-style-type: none"> - le nombre moyen de pieds par quadrat (Moy.Nb.Pieds) ; - le coefficient de variation du nombre de pieds par quadrat (CV.Nb.pieds) ; - la moyenne de la hauteur des pieds sur l'ensemble des quadrats (Moy.Moy.Hp) ; - le coefficient de variation de la moyenne de la hauteur des pieds par quadrat (CV.Moy.Hp) ; - la moyenne des écart-types de la moyenne des pieds par quadrat (Moy.ET.Hp). 	<ul style="list-style-type: none"> - la moyenne du pourcentage de jaunissement par pied sur l'ensemble des quadrats (Moy.Moy.IJ) ; - le coefficient de variation de la moyenne du pourcentage de jaunissement par pied par quadrat (CV.Moy.IJ) ; - la moyenne des écart-types du pourcentage de jaunissement par pied par quadrat (Moy.ET.IJ) ; - la moyenne du pourcentage de pieds jaunis par quadrat (Poy.Pourcent.PJ) ; - le coefficient de variation du pourcentage de pieds jaunis par quadrat (CV.Pourcent.PJ).
Ces variables permettent, au niveau de la station, de caractériser les niveaux (moyennes) et l'hétérogénéité (coefficients de variation et écart-types) du recouvrement à la fois par rapport à la surface occupée et en matière d'individus.	Ces variables permettent de caractériser l'importance du jaunissement (caractéristique d'une dégradation de l'état de santé du <i>gelidium</i>) à la fois en matière de niveau et d'hétérogénéité de pieds touchés par station et également en niveau d'intensité de jaunissement à l'échelle de l'ensemble des pieds de la station.

Les **variables biochimiques** sont :

- la moyenne (Moy. Phyco) et l'écart-type (ET.Phyco) de la teneur en phycobiliprotéines ;
- la moyenne (Moy.Chloro) et l'écart-type (ET.Chloro) de la concentration en chlorophylles ;
- la moyenne (Moy.Sucres) et l'écart-type (ET.Sucres) de la teneur en sucres.

Toutes les variables sont quantitatives sauf le recouvrement qui a été étudié à la fois de manière quantitative et de manière qualitative. Pour chaque quadrat, a également été relevée, leur position spatiale définie par la profondeur (- 3 m et - 8 m) et la position Nord/Sud.

Le recouvrement en classe a été mis en relation avec le pourcentage moyen de jaunissement des pieds à l'aide d'un test de Kruskal et Wallis, complété par un test de comparaisons multiples de Dunn si la liaison s'avérait significative. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) normée ainsi qu'un test des corrélations de Spearman (non paramétrique) ont aussi été réalisés afin de décrire les corrélations entre les variables quantitatives populationnelles à l'échelle des quadrats et des stations.

La distribution des quadrats a été représentée en fonction de leur localisation (nord ou sud) de la baie de Saint-Jean-de-Luz et de leur bathymétrie (- 3 ou - 8 m). Une analyse de variance non paramétrique à 2 facteurs ainsi que des tests post-hoc (pairwise Kruskal-Mc et perm-ANOVA) ont été utilisés afin de tester l'existence de différences significatives entre les variables en fonction de ces deux facteurs : bathymétrie et localisation. Le niveau de variabilité des quadrats au sein des stations et des stations entre elles a été testé à l'aide d'une ANOVA hiérarchique. Le seuil de significativité est choisi à 5 %.

Une ACP normée a été aussi conduite pour décrire les corrélations entre les variables populationnelles et les variables biochimiques pour les quadrats concernés par ces deux aspects.

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide des logiciels Excel 2016 ® et R Studio version 4.2.1 ® packages FactoMineR, pgirmess, lmPerm et RcmdrMisc.

2.4.3 Analyse des données acquises par drone sous-marin

L'analyse des vidéos a été effectuée par deux examinateurs. Chaque vidéo a été exploitée à partir d'une capture d'image toutes les 30 secondes couvrant les 14 vidéos. Sur chacune des images, les informations suivantes ont été annotées :

- le recouvrement du *Gelidium* selon trois classes correspondant aux critères suivants : absence (classe 0), petits groupes d'individus épars (classe 1) et champs dispersés ou larges patches (classe 2) ;
- le type de substrat en pourcentage de recouvrement selon 5 modalités (platier, blocs, galets, sable ou roche mère) ;
- l'observation d'autres algues dominantes avec leur recouvrement lorsque cela est possible ;
- en divers, la présence de mucus ou liga ; de faune diverse...

Les données issues de l'analyse des images du drone sont bancarisées dans un jeu de données de 673 lignes par 13 colonnes. Le traitement des images obtenues en drone sous-marin a été valorisé par une représentation spatiale renseignant la couverture algale en *G. corneum* suivant les trois niveaux définis précédemment. Le pourcentage de recouvrement des substrats dominants a été estimé à l'aide d'Image J avec plusieurs modalités possibles pour une image. Pour dresser les cartes de cette étude, le logiciel QGIS version 3.22.5 Białowieża et les fonds de cartes ortholittorales V3 (RVB 0300-6280 et RVB 0320-6280) ont été utilisés. Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur le jeu de données, l'objectif étant d'étudier les ressemblances entre les transects d'un point de vue du substrat et du recouvrement en *Gelidium*.

2.4.4 Analyse biochimique du *Gelidium corneum* prélevé en plongée

Pour déterminer l'influence de la localisation géographique du *Gelidium corneum* sur la concentration en composés biochimiques (protéines, polyphénols, phycobiliprotéines, chlorophylles et sucres), 5 prélèvements au sud de la baie de Saint-Jean-de-Luz ont été analysés, ainsi que 6 au nord. Pour chaque point (excepté le transect 25), l'analyse a été faite sur des prélèvements effectués à - 3 m et - 8 m de profondeur, afin de déterminer si la bathymétrie influençait ou non la concentration en composés d'intérêt.

3 Résultats

3.1 Bilan de la production

3.1.1 Par les pêcheurs professionnels

Sur la campagne 2022-2023, 12 licences sur les 20 possibles ont été attribuées [8 ligneurs, 1 chalutier, 2 fileyeurs et 1 navire ramassant également les déchets en mer (navire affrété pour cette dernière tâche par le Syndicat mixte Kosta Garbia)]. Le nombre de licences attribuées est relativement stable, entre 10 et 15 depuis la campagne 2014-2015 alors que le nombre de navires intéressés dans les années 2000 était beaucoup plus faible. Cependant, 6 navires font l'essentiel de la récolte. Une grande partie de la production est réalisée à l'automne même si elle reste encore soutenue jusqu'en mars. Les quantités débarquées ont atteint leur pic lors de la campagne 2019-2020 avec 2009 t après de bonnes années depuis 2014. Depuis, les apports se sont effondrés à moins de 1000 t (898 t en 2022-2023 pour 498 k€ de chiffre d'affaires contre 1757 t pour 1669 k€ en 2016-2017 et donc 2009 t pour 1058 k€ en 2019-2020).

La filière actuelle dépend principalement des industriels espagnols qui concentrent l'essentiel de la transformation.

Le prix dépend fortement du prix fixé par enchères à Fontarabie pour les producteurs espagnols. À la suite de quoi s'engage une discussion commerciale avec la Coopérative La Basquaise avec un prix en général un peu plus élevé de quelques centimes. Pour 2022-2023, le prix a été fixé à 0,47 € / kg soit un centime de plus que le prix des enchères contre 5 centimes de plus lors de la campagne 2016-2017. Ce prix a fortement varié au cours du temps. Entre 0,20 et 0,30 € / kg entre 1995 et 2014, il a brutalement grimpé pour atteindre un pic à 0,95 € / kg en 2016-2017 puis a diminué pour atteindre depuis 2019-2020 entre 0,45 et 0,47 € / kg. Il est difficile d'expliquer ces variations en raison de l'opacité de la filière aval alors que la demande mondiale reste très forte et que les productions sont en baisse quasiment dans tous les pays, notamment au Maroc qui concentre l'essentiel de la production. Les prix de l'agar-agar (E406) à l'export restent soutenus au niveau mondial entre 25 et 30 € / kg, quant à l'agarose ultrapure, elle atteint entre 120 et 200 € / kg.

La Coopérative La Basquaise joue un rôle central dans la filière. Elle organise la pesée et la commercialisation. En particulier, elle négocie un prix unique avec les industriels qui lui indiquent la quantité désirée sachant que ce prix peut être revu à la baisse si la qualité n'est pas au rendez-vous ou s'il y a trop de mélange d'algues (cela peut atteindre 6 à 7 % du prix) mais aussi à la hausse si l'industriel collecte plus d'un certain pourcentage de la quantité totale. Les variations ne jouent cependant que sur quelques centimes d'euros par kg. Elle organise également les conditions d'enlèvement. Les entreprises de pêche sont sociétaires de la coopérative et le contrat est passé entre la coopérative et les acheteurs. La grue du port de St Jean-de-Luz / Ciboure munie d'un peson appartient à la coopérative. En fonction des quantités pêchées, tous les matins, les camions sont commandés vers 8h (24-25 t d'algues humides en moyenne) par la coopérative à un intermédiaire à San Sebastian diligenté par l'acheteur. Ils arrivent en général vers 11h. Il est nécessaire de collecter environ 10 t, soit la production de plusieurs bateaux, pour que l'acheteur vienne chercher les algues. Cela peut poser des problèmes lorsque les quantités ne sont pas au rendez-vous, lorsque qu'il y a une grève des transporteurs comme cela a pu arriver ou lorsque les camions ne sont pas disponibles. Lorsque les algues restent trop longtemps sur le quai, en fonction des conditions atmosphériques, leur dégradation peut s'accélérer et le prix pourra s'en ressentir. L'enlèvement des algues s'effectue avec un collaborateur de la coopérative. La facture est globale et le reversement a lieu vers les entreprises de pêche au prorata des quantités collectées.

Les principales sociétés productrices d'agar sont américaines (Neogen) ou espagnoles (Hispanagar, Industrias Roko, Agarmex...) ainsi que celles produisant de l'agarose ultrapure (Lonza, Hispanagar...). Classiquement au Pays basque Sud, trois groupes espagnols se partagent le marché : Hispanagar, Agar Asturias et Industrias Roko. Ce dernier est le plus gros acheteur (en général 80-85 % des achats) et a d'ailleurs été le seul pour l'année 2022-2023. Agar Asturias achète en général environ 150 t de Gelidium. La demande locale des industriels espagnols est forte car la production du Pays basque sud s'est effondrée, de l'ordre actuellement de 200 à 300 t annuelles.

Le rapport constaté entre le poids sec et le poids humide des algues est d'environ 28 à 30 % et les algues séchées se vendent environ trois à quatre fois le prix des algues humides.

Jusqu'en juin 2017, l'entreprise Sobigel basée à Hendaye, filiale du groupe espagnol Hispanagar, produisait de l'agar-agar, l'approvisionnement étant jugé insuffisant, elle a fermé ses portes. Cette usine pouvait à l'époque traiter 10 t de Gelidium par jour, elle constituait une base avancée du groupe espagnol. Le groupe tunisien Selt Marine Group s'était également intéressé à la production locale avec le projet de reprendre l'usine Sobigel mais sans donner de suites concrètes. Depuis 2011, les laboratoires de Biarritz s'approvisionnent en algues rouges locales pour développer leur gamme de cosmétiques « bio » mais cela reste un marché de niche. La filière des engrais agricoles concerne les résidus et les produits dégradés, le prix payé étant d'environ 10 centimes par kg d'algues humides. Elle peut intégrer potentiellement la totalité du volume produit et fabriquer un produit naturel en circuit court. La société Loreki basée à Ixassou, achetait avant 2017 sa production à l'usine Sobigel, essentiellement des algues dégradées. Cependant, cela reste une filière de secours avec un intérêt économique limité pour les professionnels de la pêche.

La qualité du Gelidium collecté par les pêcheurs est globalement très bonne. Cependant, l'acheteur espagnol sur la campagne 2022-2023 a émis quelques réserves sur certains lots. À la suite d'une analyse sommaire, il a détecté des algues unicellulaires sur les pieds de Gelidium. Ces algues n'ont pas été caractérisées et leur influence sur la qualité n'a pas non plus été prouvée, cependant il est forcément intuitif de penser que *Ostreopsis* pourrait en être la cause bien que l'on se doive de rester prudent. Le CIDPMEM 64-40 avait d'ailleurs émis l'hypothèse que *Ostreopsis* pouvait être une des causes de la baisse des apports dès 2022.

3.1.2 Par les ramasseurs sur l'estran

Ces activités ont été longtemps décriées en raison de ramassages illégaux couramment pratiqués pendant de nombreuses années. Depuis une dizaine d'années, les communes, l'État et les gardes du littoral ont multiplié les contrôles entraînant une baisse de ces collectes. Aujourd'hui, cinq entreprises, dont certaines sont des entreprises individuelles, ont été identifiées qui œuvrent en toute légalité.

Cette activité est également réglementée par l'Arrêté du 8 juillet 2015 fixant les conditions de ramassage du goémon épave échoué. À cela s'ajoutent les réglementations propres sur les conditions de circulation sur les plages prises par arrêté préfectoral annuel sur proposition des communes du littoral, mais il n'existe pas de restriction de date comme pour les pêcheurs.

Pour exemple, pour la commune d'Hendaye, les arrêtés préfectoraux annuels stipulent individuellement :

- Le type, le nombre de véhicules et leur identification ;
- La durée de l'autorisation (une année civile) ;
- Les interdictions de stationnement et de stockage des véhicules et les zones de circulation (substrat sableux uniquement), l'autorisation d'accès à la plage ;
- Les dates d'interdiction de ramassage (du 1^{er} au 31 janvier et du 1^{er} au 31 décembre pour favoriser la biodiversité de la laisse de mer, du 1^{er} février au 31 mai et du 15 septembre au 30 novembre de 11h00 à 17h00 les week-ends, jours fériés et vacances scolaires de l'académie de Bordeaux, du 1^{er} juin au 14 septembre de 7h00 à 22h00) ;
- Les mesures destinées à éviter toute pollution.

Les entreprises identifiées sont CBA Artola qui opère d'Anglet à St Jean-de-Luz, et Baptista Pires Antonio, Urrutia Balzola Pierre & Urrutia Balzola Marc ainsi que Rincori Eric, ces quatre entreprises individuelles opérant sur Hendaye et certaines d'entre-elles sur Urrugne.

La société Zimela, basée à Ascain, était titulaire d'une Convention d'occupation temporaire d'une parcelle propriété du Conservatoire du Littoral pour laquelle la commune d'Hendaye est intervenue en tant que gestionnaire du Domaine d'Abbadia. Cette convention a expiré le 2 janvier 2019 et le Conservatoire du Littoral n'a pas renouvelé l'autorisation aux motifs du défaut de maintenance du dispositif de remontée des algues et de l'évolution significative de la dégradation du milieu d'intervention.

Les engins utilisés sont essentiellement des fourches sur l'estran et des filets à proximité lorsque les algues ne sont pas encore complètement échouées. Une fois collectées, elles sont soit acheminées vers les acheteurs espagnols, soit séchées sur les champs puis vendues à ces mêmes acheteurs. Trois acheteurs espagnols trustent

les collectes : Hispanagar, Agar Asturias et Industrias Roko. Les ventes aux Laboratoires de Biarritz (en fait aux extracteurs de substances) sont minimales, environ tous les deux ans quelques centaines de kg.

Le prix de vente des ramasseurs aux acheteurs espagnols a longtemps suscité des interrogations voire des fantasmes. En réalité, il ne semble pas plus élevé que pour les pêcheurs. La différence provient que pour certains d'entre-eux, ils font sécher le Gelidium dans les champs leur appartenant. Le prix du Gelidium séché avoisine les 2 € / kg, ce qui paraît voisin du prix humide (autour de 0,50 € / kg) sachant qu'une fois séchée le Gelidium a perdu 4 à 5 fois son poids humide.

Nous n'avons pas pu récupérer les quantités pêchées par l'ensemble des entreprises individuelles. L'entreprise Artola qui représente l'essentiel du ramassage du littoral nord a vendu 25 t d'algues séchées annuelles sur les 3 dernières années et 40 t en humides, ce qui représente des années de production extrêmement mauvaises. Dans les années 1990, la production pouvait atteindre 800 t d'algues séchées (équivalente à environ 3500-3700 t d'algues humides). Cette récolte était principalement destinée à alimenter l'usine Sobigel à Hendaye.

À l'heure actuelle, les salariés de l'entreprise Artola travaillent surtout l'hiver pour la collecte des algues épaves et l'été essentiellement pour le ramassage des déchets. Actuellement, la collecte des algues n'étant pas suffisante, l'équilibre financier de la société n'est plus assuré et le gérant n'est pas très optimiste pour l'avenir.

3.2 Caractérisation des champs de Gelidium avec l'environnement

3.2.1 Conditions lors de l'échantillonnage

Le tableau ci-dessous présente les conditions d'échantillonnage au moment des plongées sur la zone ainsi que les travaux effectués au cours des plongées. Les plongées se sont toutes déroulées dans des conditions optimales d'échantillonnage avec des houles inférieures à 1,5 m, des vents plutôt faibles. La colonne Bathymétrie représente les profondeurs d'échantillonnage des quadrats. La journée du 11 juillet a principalement été consacrée aux prélèvements d'Ostreopsis.

Tableau 6. Conditions de houle (hauteur en m et période en secondes), de vent (en nœuds) et de nébulosité (en %).

Date 2022	Houle (H en m et P en s)	Vent (N)	Nébulosité (%)	N° Transect (cf Fig.4)	Bathymétrie (m)
28/06 - am	1,3 et 10	< 5	50	T0	8
28/06 - pm	1,1 et 10	10	0	T4	3
29/06 - am	0,8 et 9	< 5	50	T12	3 et 8
29/06 - pm	1,3 et 13	10	0	T9	8
04/07 - am	1,2 et 9	10	100	T15	8
04/07 - pm	1,2 et 9	15	100	T7	8
05/07 - am	0,8 et 8	< 5	10	T25	3 et 8
05/07 - pm	0,8 et 8	5	10	T24	3 et 8
06/07 - am	1 et 6	15	100	T17	3
06/07 - pm	1 et 6	15	100	T9	3
08/07 - am	0,8 et 7	5	70	T19	3 et 8
08/07 - pm	0,8 et 7	5	0	T5	3
11/07 - am	T0	< 5	0	T25	ostreopsis
11/07 - pm	T0	< 5	0	T0	3 et ostreopsis
12/07 - am	0,8 et 9	< 5	0	T15	3
12/07 - pm	0,8 et 9	< 5	0	T4 et T7	3
13/07 - am	1 et 12	< 5	0	T17	8
13/07 - pm	1 et 12	< 5	0	T5	8
14/07 - am	1 et 12	< 5	0	T22	3 et 8
14/07 - pm	1 et 12	< 5	0	T2	8
15/09 - am	0,6 et 13	< 5	50	T14	3 et 8
15/09 - pm	0,6 et 13	< 5	20	T13	3 et 8
16/09 - am	0,9 et 11	10	100	T2	3
16/09 - pm	0,9 et 11	10	75	T2	8

3.2.2 Principales caractéristiques biologiques des champs

3.2.2.1 Liens entre variables populationnelles

À l'échelle des stations, une ACP normée permet de décrire les liens entre les variables populationnelles (Fig. 13 et Fig. 14). Les 2 premiers axes expriment 54 % de l'inertie totale du jeu de données. Sur l'axe 1, l'intensité du jaunissement à l'échelle des pieds est positivement corrélée à son niveau de variabilité et à l'importance de celui-ci observée sur la station. Ce groupe de caractéristiques est négativement corrélé aux coefficients de corrélation de l'intensité et de l'importance du jaunissement (groupes de variables entourés en bleu). Sur l'axe 2, la moyenne du nombre de pieds est associée à de fortes proportions de la classe de recouvrement C14. Toutes deux sont négativement corrélées aux CV de ce nombre de pieds, à la moyenne de la hauteur des pieds et aux proportions des classes de recouvrement C11 et C12 (groupe entouré en orange).

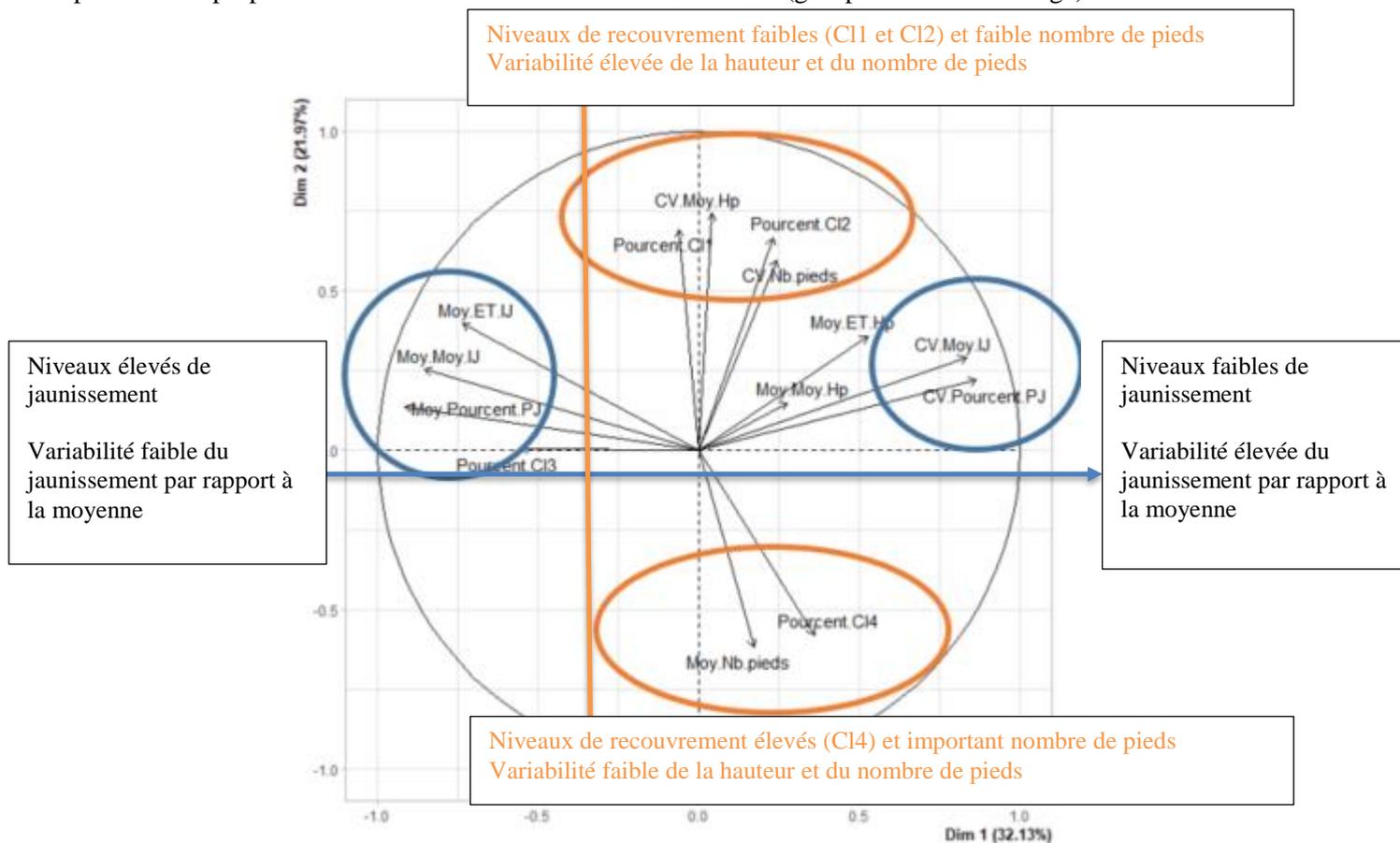


Figure 13. Graphe des variables (ACP) selon les dimensions 1-2.

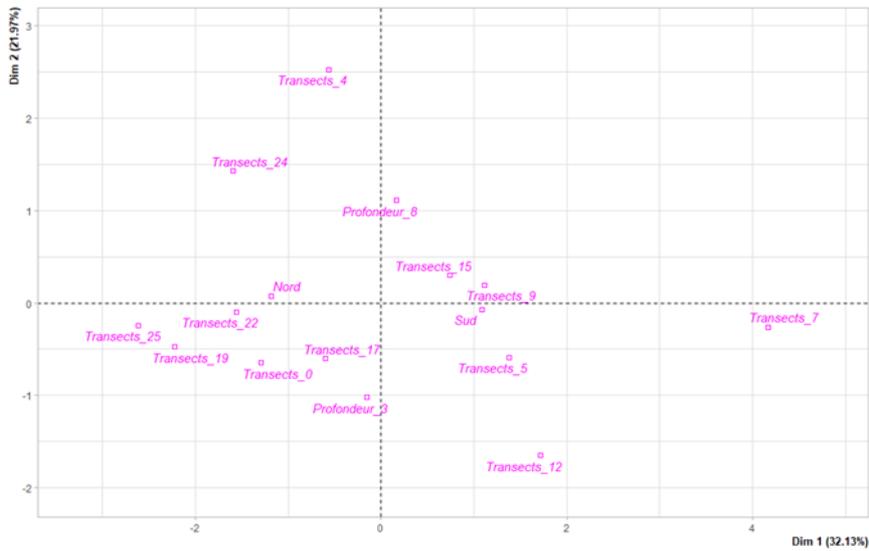


Figure 14. Nuage des modalités des informations spatiales selon les dimensions 1-2.

À l'échelle des quadrats, l'analyse de relations pouvant exister 2 par 2 entre les variables populationnelles a été menée. Hormis la relation évidente entre le nombre de pieds et la classe de recouvrement), cette analyse ne permet d'aboutir qu'à une relation significative entre le pourcentage moyen de jaunissement des pieds (P. Jaune) et les classes de recouvrement. Bien que la classe 1 soit peu représentée, les moyennes de cette intensité de jaunissement des classes 1, 2 et 3 diffèrent significativement de celle de la Classe 4.

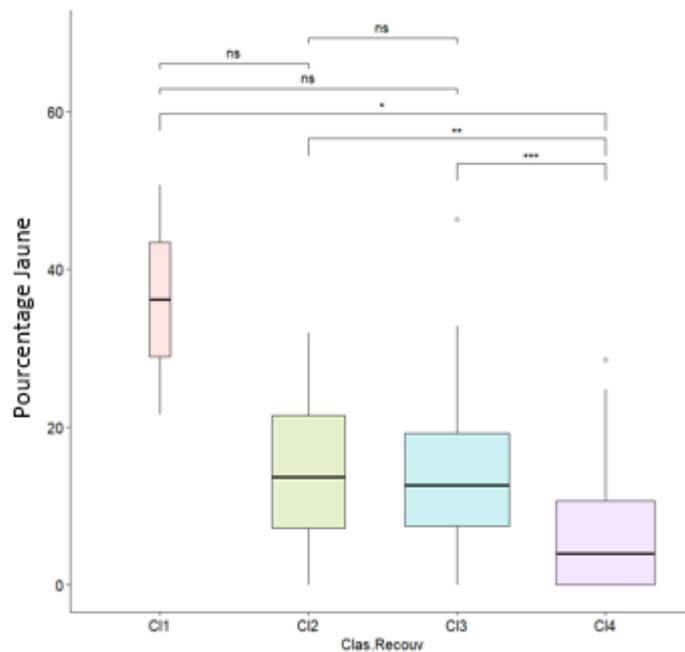


Figure 15. Boîte de dispersion du pourcentage de jaunissement en fonction des classes de recouvrement avec indication des résultats du test de Dunn (ns = différences non significatives, *, **, *** = différences significatives, le nombre d'étoiles indiquant le niveau de significativité – max = ***).

3.2.2.2 Variables populationnelles et distribution spatiale

Le tableau 7 présente les résultats des caractéristiques biologiques des échantillonnages en plongée en fonction de la localisation et de la bathymétrie. La biomasse est donnée à titre indicatif mais n'a pas été testée car elle repose sur un faible nombre de données et n'est pas forcément représentative à l'échelle de la station.

Tableau 7. Paramètres descriptifs des variables biologiques des champs de *Gelidium* pour l'ensemble des échantillonnages réalisés et en fonction de la localisation et de la bathymétrie (Recouvrement, Pourcentage de jaunissement, Pourcentage de pieds jaunis, Hauteur des pieds et Biomasse).

Zone d'étude	SUD	NORD	3 m	8 m	
	Moy (Min/Max)	Moy (+/- E-type)	Moy (+/- E-type)	Moy (+/- E-type)	
Recouvrement (%)	64,9 (15/87,5)	66,1 (+/-23,4)	63,5 (+/-16,5)	72,9 (+/-16,8)	56,7 (+/-20,8)
Pourcentage jaune (%)	11,6 (0 à 50,7)	8,8 (+/-9)	14,9 (+/-10,8)	9,6 (+/-8,2)	13,7 (+/-11,7)
% de pieds jaunis	53,2	42,3	65,9	51,4	55
Hauteur pied (cm)	24,4 (10,9 à 38,6)	24,8 (+/-5,5)	24 (+/-4,8)	23,4 (+/-4,3)	25,4 (+/-5,3)
Biomasse* (gr/poids sec/m ²)	813,6 (140,8 à 1336,4)	882,8 (+/-297,2)	737,2 (+/-299,2)	956 (+/-299,2)	656 (+/-278,8)

* sur un seul quadrat

Le **recouvrement** moyen des quadrats est de 64,9 %, il correspond à la classe [50-75] (Tab. 7). Le recouvrement algal est significativement plus important à -3 qu'à -8 m ($Pr < 2^{-16}$), la bathymétrie influence donc le recouvrement. En revanche, il n'y a pas d'effet significatif de la localisation nord/sud (Tab. 8).

Le **pourcentage moyen de jaunissement** des pieds par quadrat (P. Jaune), varie de 0 % à 50,7 %. La valeur moyenne de jaunissement des pieds est de 11,6 %. Concernant le jaunissement des pieds, il est significativement plus important à -8 m qu'à -3 m ($Pr = 0,0116$) et au Nord qu'au Sud ($Pr < 2^{-16}$; Tab. 8). Il varie de manière significative entre les stations et entre les quadrats d'une même station (ANOVA hiérarchique : $P_{\text{value}} < 2,2e-16$). La bathymétrie et la localisation sont des facteurs qui influencent le jaunissement des rameaux de *Gelidium*.

Le **pourcentage moyen de pieds jaunis** par quadrat (P. Jaunis), varie de 0,0 % à 100,0 % avec une valeur moyenne de 53,2 %. Cette caractéristique décrivant la proportion de pieds jaunis est significativement plus importante au Nord qu'au Sud ($Pr < 2^{-16}$; Tab. 8).

La **hauteur moyenne des pieds** par quadrat (H. Pied), varie de 10,9 cm à 38,6 cm. En moyenne, les pieds mesurent 24,4 cm. La hauteur des pieds augmente significativement avec la profondeur ($Pr = 0,017$; Tab. 8) malgré une différence moyenne inférieure à 2 cm. En revanche, aucune différence significative n'est observée entre le Nord et le Sud de la baie de Saint-Jean-de-Luz ($Pr = 0,76$; Tab. 8).

Tableau 8. Résultats de l'ANOVA par permutations (aovp) pour tester les variables étudiées (Localisation, bathymétrie) sur les paramètres biologiques.

Variables		ANOVA par permutations (aovp)	
		Mean Sq	Pr (Prob)
Recouvrement	Localisation	408,3	0,24389
	Bathymétrie	7531,1	< 2e-16
	Loc : Bathy	1484,5	0,04567
Part jaunie (pourcentage)	Localisation	1244,03	< 2e-16
	Bathymétrie	670,35	0,0116
	Loc : Bathy	65,02	0,5476
Hauteur des pieds	Localisation	10,829	0,76471
	Bathymétrie	133,289	0,01740
	Loc : Bathy	103,657	0,03068
Pieds jaunis (pourcentage)	Localisation	342,36	< 2e-16
	Bathymétrie	0,70	1,0000
	Loc : Bathy	8,77	0,2377



Figure 16. Représentation spatiale du recouvrement du *Gelidium* aux différentes bathymétries.



Figure 17. Représentation spatiale de la biomasse sèche de *Gelidium* sur un quadrat par station.

3.2.2.3 Corrélation entre variables populationnelles et biochimiques

À l'échelle des quadrats, l'ACP normée permet de décrire les liens entre les variables populationnelles (Fig. 18). Les 2 premiers axes de l'analyse expriment 49 % de l'inertie totale du jeu de données. Sur l'axe 1, plus la moyenne et la variabilité de l'intensité du jaunissement, ainsi que le pourcentage de pieds jaunis, sont forts et plus la moyenne et la variabilité de la teneur en phycobiliprotéines, ainsi que la moyenne de la concentration en chlorophylle, sont basses. Sur l'axe 2, plus la moyenne en teneur en sucres est élevée et plus la variabilité de la concentration en chlorophylle est faible. Le phénomène de jaunissement semble plus marqué sur les stations au nord qu'au sud.

De plus, elles présentent également une moyenne et une variabilité des teneurs en phycobiliprotéines et des moyennes de concentrations en chlorophylles moindres que les stations du sud.

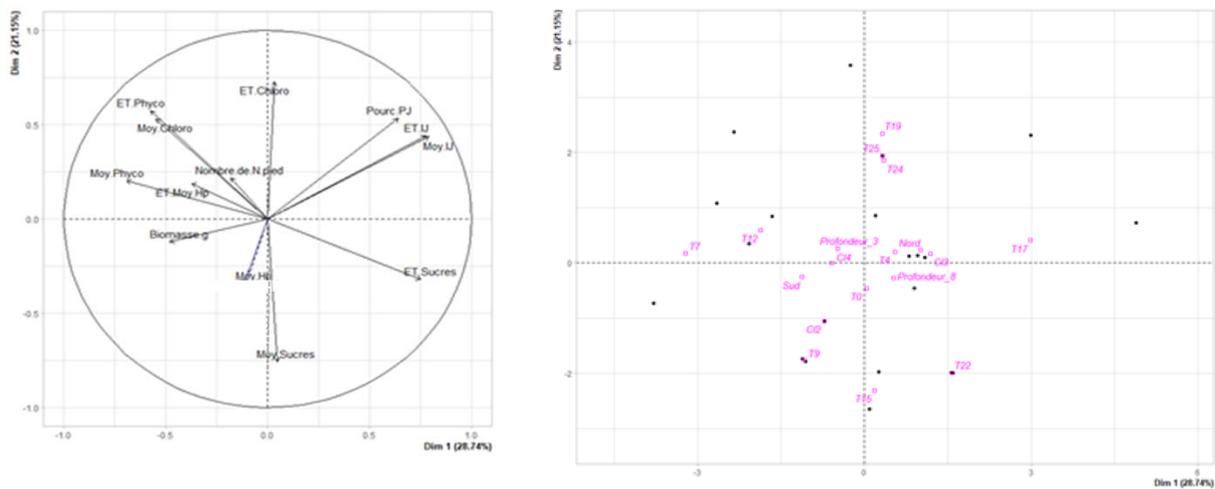


Figure 18. Résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) sur les variables populationnelles et biochimiques.

3.2.3 Description des épiphytes sur le Gelidium

D'un point de vue quantitatif, pour chaque point échantillonné le calcul du rapport entre biomasse épiphyte/biomasse Gelidium a permis de dresser une répartition spatiale à l'échelle de la zone du niveau d'épiphytisme du Gelidium. La figure 19 montre que le niveau d'épiphytisme ne présente pas de structuration particulière entre le Sud (Figure 19A) et le Nord (Figure 19B). Sur plusieurs points, il apparaît que ce rapport est supérieur à - 8 m par rapport à - 3 m mais cette observation n'est pas systématique et devrait être vérifiée par un échantillonnage ciblé pour le confirmer statistiquement.

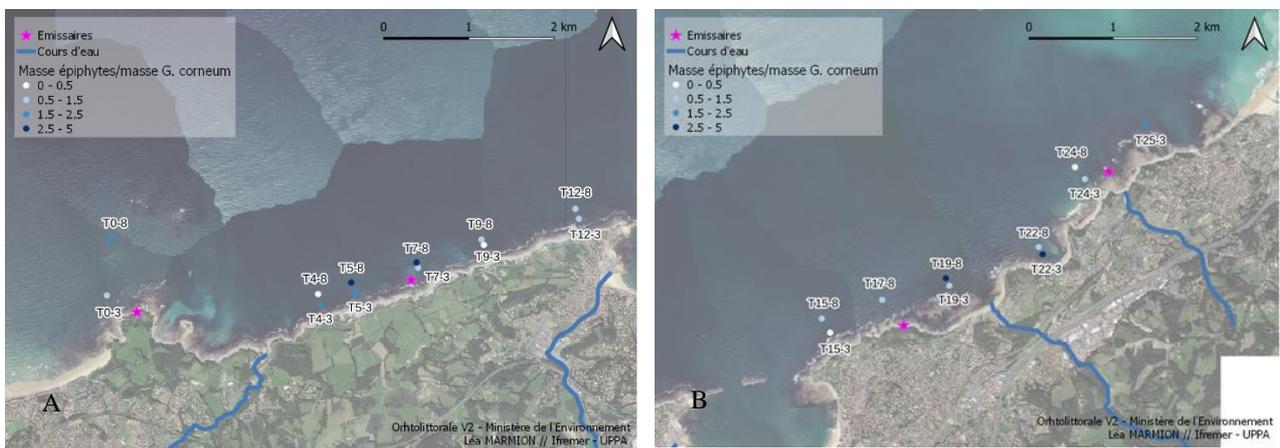


Figure 19. Intensité des épiphytes en fonction de la localisation sur la zone d'étude. A : partie sud et B : partie nord.

D'un point de vue qualitatif, l'analyse des épiphytes récoltés à partir de l'échantillonnage a pour but de compléter les informations sur les espèces directement associées aux champs de *Gelidium*. Les taxons récoltés sont principalement des algues, quelques invertébrés benthiques sont aussi observés sur les pieds récoltés appartenant aux groupes des bryozoaires et hydrozoaires (Tab. 9). Parmi ces espèces, le *Plocamium cartilagineum* est l'espèce qui domine largement, elle peut vivre à la fois en épiphyte mais également fixée parmi les pieds. Parmi les autres espèces dont l'occurrence est importante, *Antithamnion nipponicum* et *Aglaothamnion tripinnatum* sont des petites espèces d'aspect filamenteux qui sont probablement sous estimées compte-tenu du protocole d'échantillonnage mis en œuvre dans le cadre de ce travail. On relève également la fréquence de la présence du bryzoaire *Electra pilosa* fixé sur les pieds et les rameaux.

En parallèle, même si cet aspect n'est pas considéré dans cette approche, la faune vagile associée au *Gelidium* a été récoltée et conservée dans l'alcool en attendant une identification ultérieure car la biodiversité associée aux champs de *Gelidium* n'a jamais été étudiée sur la côte basque française et cette campagne était l'occasion d'effectuer un échantillonnage sur l'ensemble du territoire et à deux niveaux bathymétriques distincts.

Tableau 9. Diversité taxonomique des épiphytes du *Gelidium*.

	Taxa	Famille	Occurrence	
	<i>Plocamium cartilagineum</i> (Linnaeus) P.S.Dixon, 1967	Plocamiaceae	26	
	<i>Antithamnion nipponicum</i> Yamada & Inagaki, 1935	Ceramiaceae	12	
	<i>Aglaothamnion tripinnatum</i> (C.Agardh) Feldmann-Mazoyer, 1941	Callithamniaceae	10	
	<i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) J.V.Lamouroux, 1809	Dictyotaceae	7	
	<i>Gayliella flaccida</i> (Harvey ex Kützing) T.O.Cho & L.J.McIvor, 2008	Ceramiaceae	3	
	Algues vertes filamenteuses		3	
	<i>Acrosorium</i> spp.	Delesseriaceae	3	
Algues	<i>Apoglossum ruscifolium</i> (Turner) J.Agardh, 1898	Delesseriaceae	2	
	<i>Corallina officinalis</i> Linnaeus, 1758	Corallinaceae	2	
	<i>Aglaothamnion tenuissimum</i> (Bonnemaison) Feldmann-Mazoyer, 1941	Callithamniaceae	2	
	<i>Callithamnion</i> spp.	Callithamniaceae	1	
	<i>Ulva</i> spp.	Ulvaceae	1	
	<i>Centroceras clavulatum</i> (C.Agardh) Montagne, 1846	Ceramiaceae	1	
	<i>Bornetia secundiflora</i> (J.Agardh) Thuret, 1855	Wrangeliaceae	1	
	<i>Cladophora</i> spp.	Cladophoraceae	1	
Bryozoaires	<i>Electra pilosa</i> (Linnaeus, 1767)	Electridae	11	
	<i>Bicelliariella ciliata</i> (Linnaeus, 1758)	Bugulidae	4	
	<i>Aetea anguina</i> (Linnaeus, 1758)	Aeteidae	2	
Hydrozoaires	<i>Aglaophenia pluma</i> (Linnaeus, 1758)	Aglaopheniidae	2	

3.3 Représentation spatiale du recouvrement de *Gelidium* sur les transects prospectés en drone sous-marin

Le nombre d'images acquises lors des prospections en drone sous-marin s'élève à 673 images avec un nombre d'images analysées de 648 (Tab. 10). Certaines images ont été écartées pour diverses raisons : photos floues ou en doublon (du fait de la vitesse lente de prospection du drone à certains moments).

Tableau 10. Nombre d'images acquises et analysées par transect.

Localisation	N°Transect	Nombre d'images acquises	Nombre d'images analysées
Hendaye/Abbadia	T1 Abbadia	57	57
Hendaye/Abbadia	T2 Abbadia	136	133
Hendaye/Abbadia	T3 Abbadia	59	58
Hendaye/Abbadia	T4 Abbadia	78	78
Urrugne	T2	33	30
Urrugne	T4	51	40
Urrugne	T6	36	36
Socoa	T10	36	36
St Jean de Luz	T18	63	59
St Jean de Luz	T20	76	74
St Jean de Luz	T23	48	47
St Jean de Luz	Total	673	648

Les recouvrements de Gelidium les plus importants sont localisés sur les transects T4, T3 du secteur d'Abbadia, T6 du secteur d'Urrugne, T10 du secteur Socoa et T18 du secteur de St Jean de Luz. Le transect T20 est caractérisé par davantage de pieds épars (Fig. 20 à 23). Les transects T2 Abbadia et T23 présentent des grandes proportions dépourvues de Gelidium.

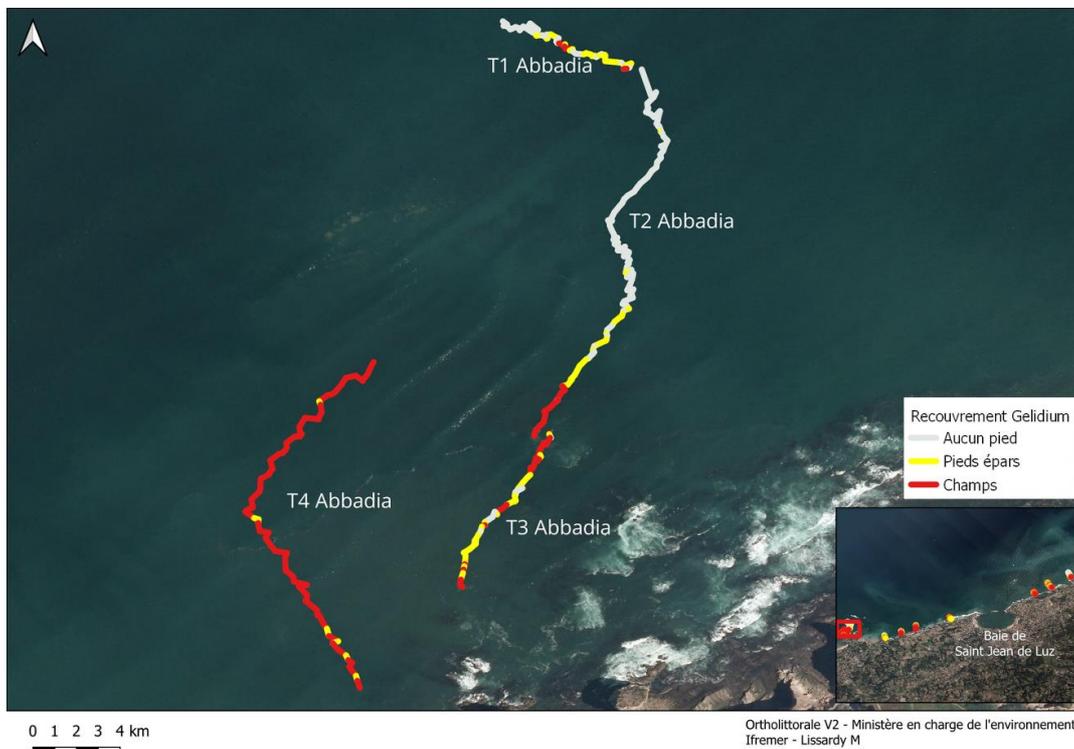


Figure 20. Estimation du recouvrement en 3 classes sur les transects T1, T2, T3 et T4 Abbadia (secteur d'Hendaye).



Figure 21. Estimation du recouvrement en 3 classes sur les transects T2, T4 et T6 (secteur d'Urrugne).



Figure 22. Estimation du recouvrement en 3 classes sur le transect 10 (secteur Socoa).



Figure 23. Estimation du recouvrement en 3 classes sur les transects T18, T20 et T23 (secteur Saint-Jean-De-Luz).

Les platiers² prédominent globalement la couverture du domaine étudié (Fig. 24). Les transects T2 Abbadia et T23 sont plus hétérogènes avec des zones de platier, de sable, de blocs ou de roche mère.

Sur certains transects, les portions présentant des étendues recouvertes de sable avec tout un cortège d'algues fixées sont notées en roche mère (Fig. 25). Les champs de Gelidium sont localisés préférentiellement sur les platiers. Les zones sableuses ou de roche mère ensablée sont dépourvues de Gelidium (Fig. 26). Ces observations sont confirmées par une analyse en composantes principales (Fig. 27).

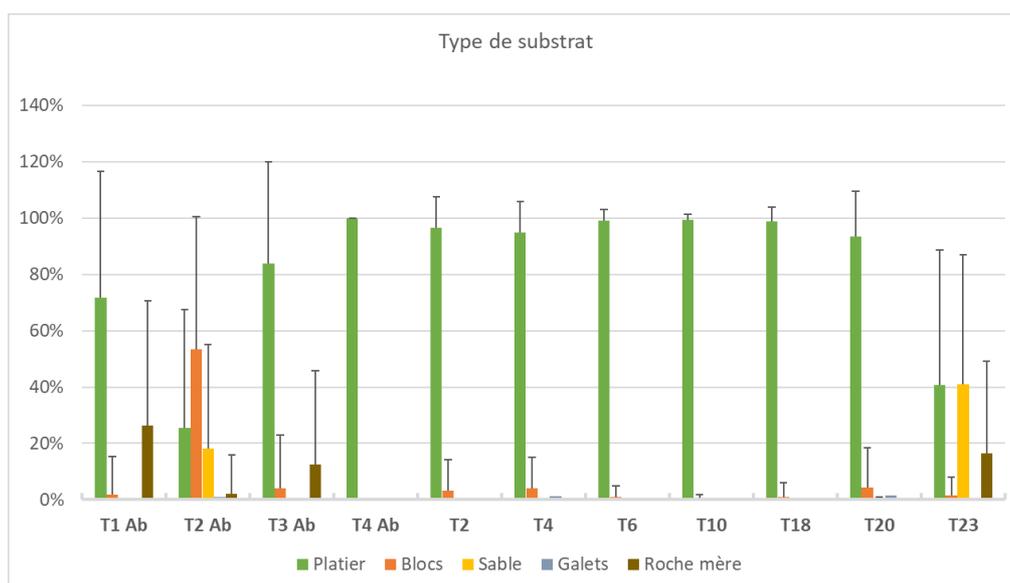


Figure 24. Pourcentage de recouvrement des types de substrats par transect.

² En géomorphologie, les platiers rocheux correspondent à des séquences de strates où des couches dures alternent avec des couches tendres formant des structures plissées caractéristiques.



Exemples de roche mère ensablée présentant un cortège d'algues fixées.



Exemples de champs de Gelidium présents sur les platiers.

Figure 25. Images illustrant la roche mère ensablée avec des algues fixées et des platiers recouverts de Gelidium.

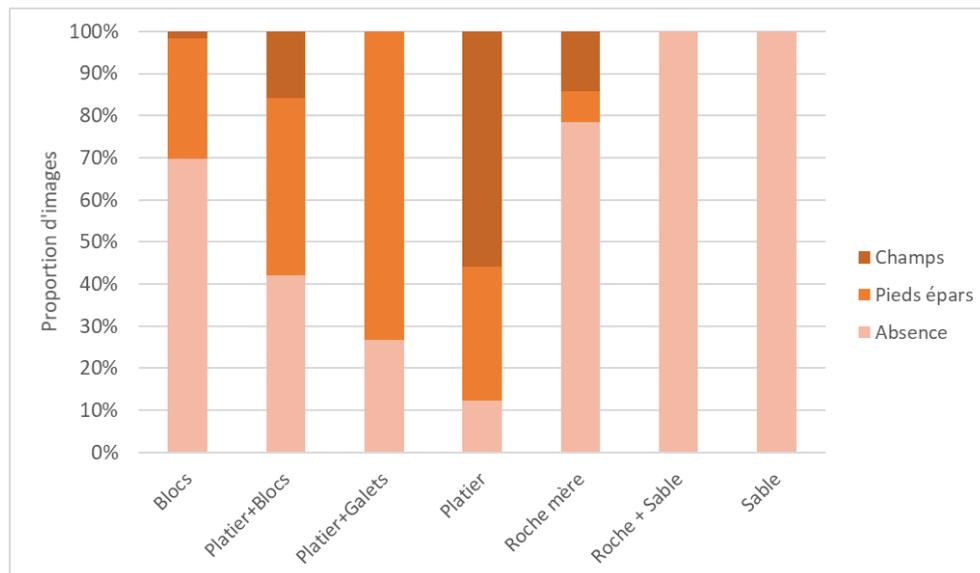
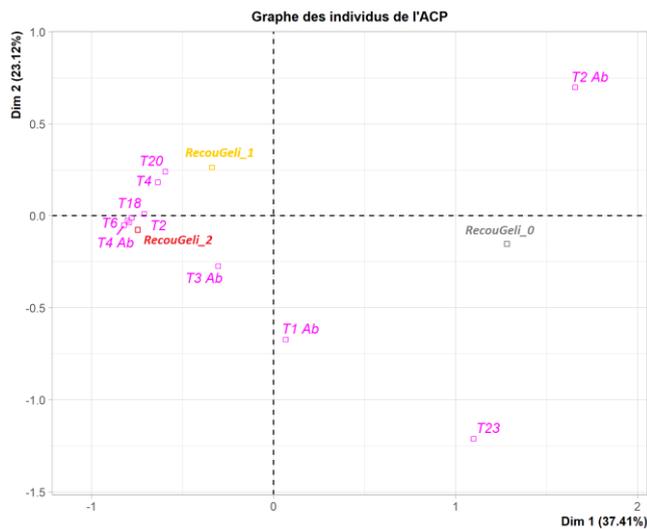


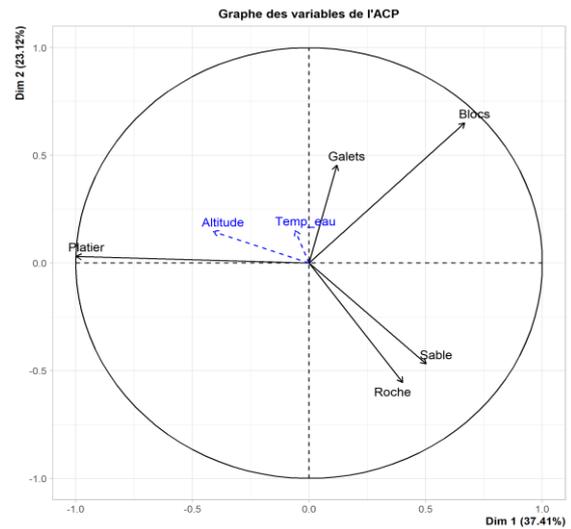
Figure 26. Recouvrement du Gelidium en fonction du type de substrat.

Les 2 premiers axes de l'analyse expriment 61 % de l'inertie totale du jeu de données ; cela signifie que 61 % de la variabilité totale du nuage des individus (ou des variables) est représenté dans ce plan. Sur les dimensions 1 et 2, il ressort que le transect T2 Abbadia partage de fortes valeurs pour la variable Blocs (coordonnées positives sur l'axe 1). Le transect T23 est caractérisé par des fortes valeurs pour les variables Roche et Sable (coordonnées négatives sur l'axe 2). Ces 2 transects présentent des recouvrements en Gelidium nuls. Les transects T4, T2, T6, T10, T18 partagent de fortes valeurs pour la variable Platier et un recouvrement en

Gelidium noté en Champs (RecouGeli_2 = classe 2). Les transects T4 et T20 sont plutôt caractérisés par des pieds éparés de Gelidium (RecouGeli_1 = classe 1).



Graphique des modalités (ACP) selon les dimensions 1-2 (chaque modalité est représentée au barycentre des individus). Les facteurs libellés sont ceux les mieux représentés sur ce plan.
 RecouGeli_0 = Absence de Gelidium ; RecouGeli_1 = Pieds éparés de Gelidium ; RecouGeli_2 = Champs de Gelidium



Graphique des variables (ACP) selon les dimensions 1-2. Les variables en noir sont les variables actives, celles en bleu sont les variables quantitatives supplémentaires (illustratives).

Figure 27. Résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) sur le recouvrement en Gelidium et les types de substrats.

3.4 Analyses biochimiques du *Gelidium corneum* prélevé en plongée

Les résultats sur les dosages de polyphénols ont mis en évidence une faible concentration de ces molécules dans la macroalgue et aucun impact de la zone de prélèvement ou de la bathymétrie sur sa concentration (données non montrées). Par soucis de compréhension, les résultats portant sur les polyphénols n'ont pas été présentés sur la figure 28. L'analyse de protéines totales est en cours.

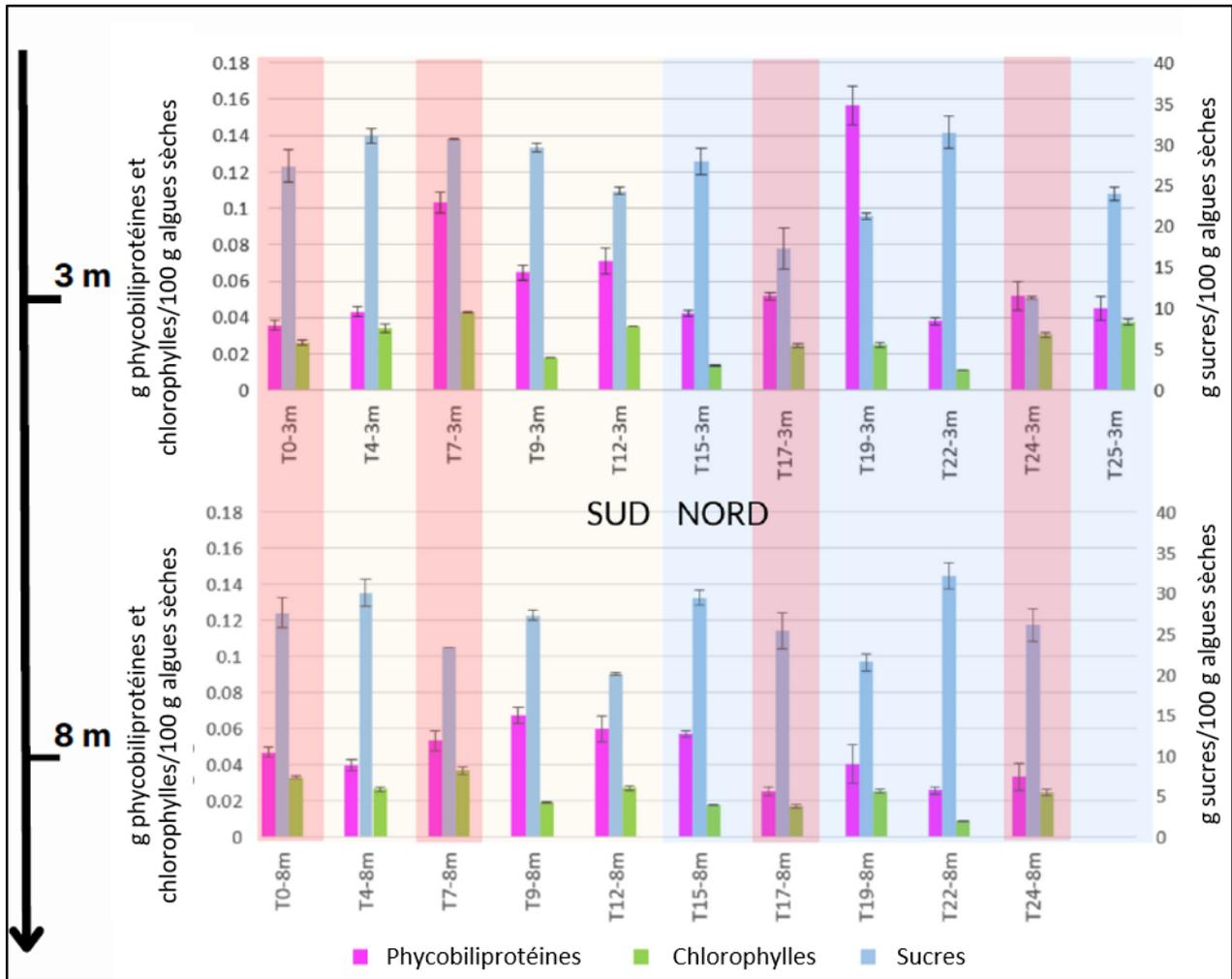


Figure 28. Concentration en phycobiliprotéines, chlorophylles et sucres (en g par 100 g d'algues sèches) de chaque prélèvement (la zone jaune représente le sud de St Jean de Luz, la bleue le nord et les zones rouges les transects situés au niveau des émissaires).

Sur la figure 28, il est difficile de dégager une tendance concernant l'impact de la localisation et de la bathymétrie sur la composition biochimique des macroalgues. La position du transect ou sa profondeur ne semblent pas influencer la concentration en sucres.

Généralement, les points au sud de la baie ont montré les meilleurs taux en pigments photosynthétiques, excepté pour le transect 19 à - 3 m. Les prélèvements ont été effectués en été, la saison où les courants de surface sont majoritairement orientés vers le sud, donc la proximité de la baie a potentiellement augmenté la turbidité de l'eau au sud de la baie, protégeant ainsi la dégradation des pigments. C'est aussi dans le sud que les concentrations en carbohydrates étaient le plus souvent au-dessus de la moyenne (pour 7 points sur 10 contre 5 points sur 11 dans le nord de la baie, dont 2 autres points du nord présentaient les concentrations les plus faibles).

On peut également observer une tendance à une concentration en pigments photosynthétiques plus élevée à - 3 m qu'à - 8 m.

L'impact du jaunissement des frondes sur la composition biochimique de *Gelidium corneum* a également été regardé. Des algues d'un même transect (numéro 22) présentant, ou non, un jaunissement de leurs frondes ont été analysées afin d'identifier les molécules potentiellement impactées par le jaunissement.

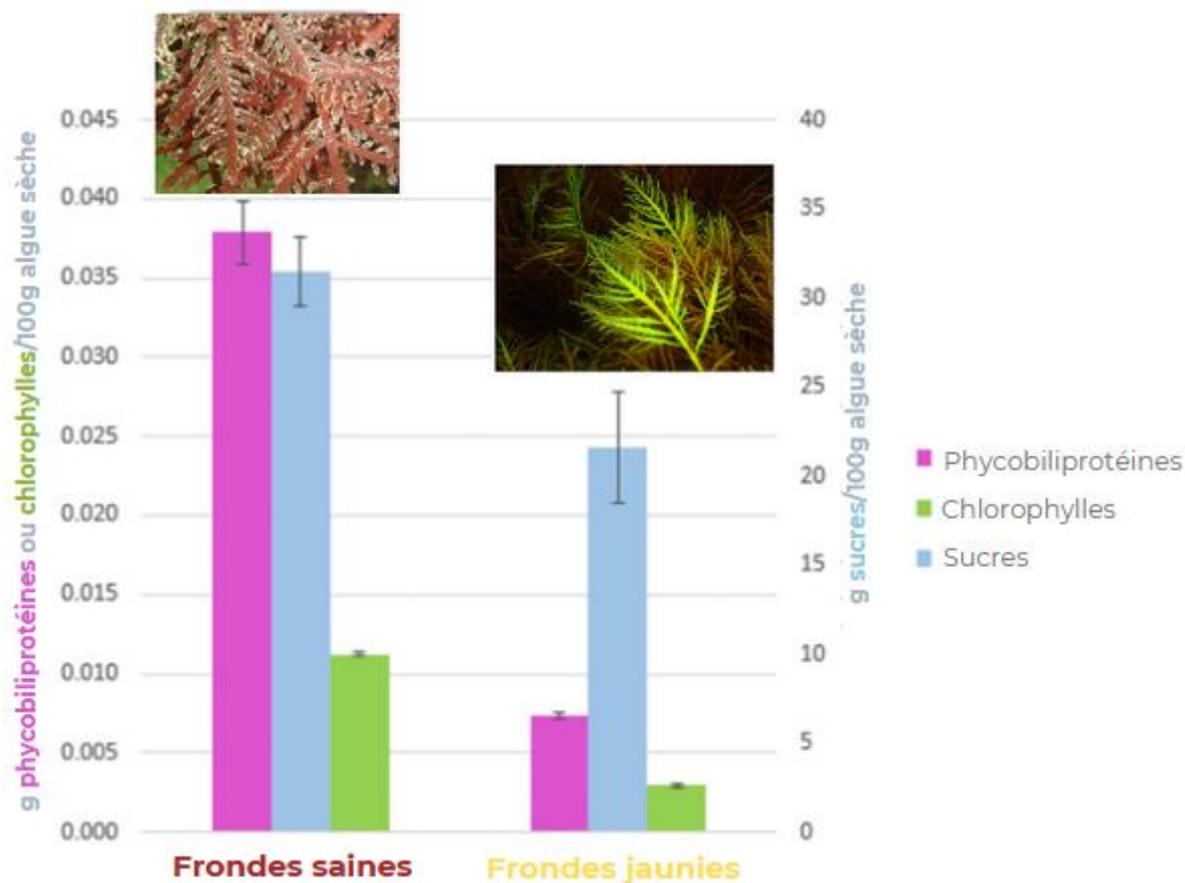


Figure 29. Concentration en phycobiliprotéines, chlorophylles et sucres (en g par 100 g d'algues sèches) de frondes saines et jaunies de *Gelidium corneum* (algues prélevées sur le transect 22).

Les parties jaunies, comme on pouvait s'y attendre, ont présenté une perte importante des molécules photosynthétiques (Fig. 29). La concentration en phycobiliprotéines a été divisée par plus de 5 (0,0379 g/100 g à 0,0074 g/100 g). De même, pour les chlorophylles, la concentration est près de 4 fois moindre (0,0112 g/100 g à 0,0029 g/100 g). La concentration en carbohydrates est celle qui semble être la moins influencée, mais présente tout de même une décroissance de 31,50 g/100 g à 22 g/100 g.

4 Discussion

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux résultats obtenus sur la caractérisation du *Gelidium* en étudiant la variabilité liée d'une part à la bathymétrie (- 3 et - 8 m) et la latitude selon la baie de Saint-Jean-de-Luz (Nord et Sud).

Tableau 11. Principaux résultats sur la caractérisation du *Gelidium*.

	Résultat	Bathymétrie	Latitude
% de recouvrement	[50 – 75[> à 3 m	Nord = Sud
Biomasse	+/- 800 g/m ² *	Non testé	Non testé
Hauteur des pieds	23-25 cm	> à 8 m	Nord = Sud
Jaunissement des rameaux	+/- 11 %	> à 8 m	> Nord
Composition biochimique		3 m = 8 m	Nord = Sud
Épiphytisme	0 à 5 g/m ² *	> à 8 m	Nord = Sud

* poids sec

En tant qu'habitat tri-dimensionnel, les communautés de macroalgues constituent un habitat à haute valeur fonctionnelle dans les écosystèmes côtiers. Les grandes algues brunes sont largement considérées comme des espèces structurantes de l'habitat (Derrien-Courtet et al., 2014) à l'échelle locale, le *Gelidium* constitue une espèce structurante au même titre que les *Cystoseires* (Muguerza et al., 2020). Ainsi, il est important de maintenir un bon état de conservation des espèces qui composent la canopée pour pérenniser à la fois de la biodiversité et le bon fonctionnement de ces habitats. Les effets cumulés des différentes pressions anthropiques qui s'exercent sur la bande côtière, qu'elles soient directes, en lien avec les activités locales (apports d'eau douce, aménagements côtiers, rejets de dragage.) ou qu'elles soient indirectes, en lien avec le changement global (température, courantologie, irradiance.) ne peuvent être dissociées à partir de données ponctuelles. Elles nécessitent de longues séries de données pour intégrer la variabilité inter-annuelle. Cependant les travaux de Borja et al., (2013) montrent sur la côte basque espagnole que l'effet des activités anthropiques augmente la vulnérabilité des macroalgues face aux modifications environnementales liées aux changements globaux. Il est difficile de définir clairement si la régression des champs de *Gelidium* résulte du changement global ou des pressions anthropiques. Sur la côte basque espagnole, une diminution importante de l'emprise spatiale de couverture de *Gelidium* a été observée depuis 2008 (Muguerza et al., 2020). Elle s'accompagne d'une simplification des communautés benthiques (faune et flore).

Pour le sud du golfe de Gascogne, les deux principaux genres d'algues qui composent la canopée sont *Gongolia* (Ex. *Cystoseira*) et *Gelidium*. Sur la côte basque, *Gongolia* est suivi sur 3 stations depuis 2014 dans le cadre de l'application du protocole DCE et particulièrement avec la version étendue pour répondre aux objectifs de la DCSMM (de Casamajor et al., 2019). En revanche, aucun suivi n'est ciblé sur la ressource en *Gelidium* depuis les travaux ponctuels de Kaas et Barbaroux dans les années 2000. Dans le même temps, ces travaux sur les communautés algales et plus particulièrement le *Gelidium* sont nombreux sur la côte basque espagnole (Gorostiaga, 1994 ; Borja et al., 2018 ; Quintano et al., 2018). Les résultats de ces études mettent en lumière à la fois une forte régression des canopées au cours des dernières décennies et en particulier celle du *Gelidium* a été démontrée sur la côte basque espagnole (Muguerza et al., 2020 ; Muguerza et al., 2022) ainsi qu'une modification structurelle (traits fonctionnels) et des communautés algales et invertébrés benthiques associées (Muguerza et al., 2020).

Le *Gelidium* est une espèce annuelle, qui présente un caractère saisonnier marqué avec une période principale de croissance au printemps et une seconde moins marquée à l'automne (Mouradi et al., 2007). Le décrochage des rameaux se produit principalement dans des conditions de fort hydrodynamisme en fin d'été (Quintano et al., 2019). De ce fait, cette campagne d'échantillonnage constitue une image de la ressource en 2022 et ne considère pas la variabilité inter-annuelle des conditions environnementales influant sur la quantité et la qualité du *Gelidium* colonisant la côte basque. Ces résultats s'appliquent donc uniquement à la saison 2022.

4.1 Situation de la ressource en 2022

Hormis les données issues de l'activité de ramassage, les seules données antérieures disponibles sur la zone prospectée datent de 1998 (Barbaroux et Kaas, 1999), Il est difficile de les comparer avec les données

collectées dans le cadre de cette étude en raison du manque d'informations disponibles sur la méthodologie employée à l'époque. En 1998, la biomasse avait été estimée sur la zone 0 - 10 m à 1700 tonnes d'algues fraîches et donc avec une quantité d'eau indéterminée. En 2022, la biomasse est calculée en matière sèche pour éliminer la variabilité liée à la quantité d'eau présente dans les échantillons, elle est comprise entre 35 et 335 g par quadrat de 0,25 m² soit entre 140 gr et 1,34 kg par m². Compte tenu du fait qu'un seul quadrat ait été échantillonné par station, il est impossible d'extrapoler ces résultats à l'ensemble de la zone d'étude. Une augmentation de l'effort d'échantillonnage n'était pas envisageable compte tenu d'un effet destructeur que cela aurait occasionné ainsi que de l'augmentation du temps de collecte.

4.1.1 Ressource disponible

Le bilan des rendements de pêche exprimés en CPUE (t/j : tonnes/ jour de ramassage) pour la saison 2022-2023 est de 3,16 t/j. Il est sensiblement en baisse par rapport à la moyenne de la période 2017-2021 à 4,09 t/j (CIDPMEM, 2023). Cette tendance est conforme aux observations disponibles dans la bibliographie sur de longues séries de données concernant la diminution de la canopée de *G. corneum* sur la côte basque espagnole (Borja et al., 2013 ; Muguerza et al., 2017). Toutefois il n'est pas possible d'évaluer dans quelle mesure la CPUE est représentative de la biomasse car les rendements dépendent du décrochage des rameaux et donc des conditions de houle (Borja et al., 2018). Pour chacun des quadrats réalisés, le nombre et la hauteur de chaque pied ont été pris en compte. Considérant qu'en aucun cas le nombre de pieds ne peut être un indicateur de la biomasse, dans la mesure où le nombre et la longueur des rameaux n'est pas mesurée, ce paramètre n'apporte que très peu d'informations. Ainsi, il est recommandé pour de futures campagnes de ne pas relever ce paramètre d'autant plus que l'acquisition de ces données est chronophage et induit un faible nombre de quadrats au cours d'une plongée. Il sera plus intéressant lors de futures campagnes de consacrer ce gain de temps à réaliser un plus grand nombre de quadrats par niveau bathymétrique et par transect en notant simplement le pourcentage de recouvrement, la hauteur moyenne de la canopée ainsi que celle du jaunissement des rameaux. Ceci permettra d'améliorer la précision des estimations en minimisant la variabilité liée au faible nombre de quadrats.

Concernant l'exploitation de cette ressource, les perspectives locales sont marquées par les incertitudes liées à la baisse des quantités collectées tant en mer qu'à terre. Les acteurs se projettent peu sur l'avenir ayant également été confrontés à des déceptions en matières d'investissement ou de reprise d'activité. Pourtant, la production du Pays basque nord suscite toujours de la convoitise, tant en France, provenant essentiellement de Bretagne où les principales entreprises travaillant sur les algues sont installées, qu'à l'étranger, principalement les industriels espagnols mais également nord-africains. Les possibilités d'investissement à court terme consisteraient en une cribleuse laveuse lorsque les algues sont salies par des sédiments ou d'autres algues, mais également par un séchoir. Les problématiques représentées par ce dernier investissement conséquent seraient le foncier, mais également les nuisances générées, en particulier les odeurs qui avaient été un frein à l'activité de Sobigel par exemple. Une étude spécifique serait nécessaire pour trouver un modèle économique viable.

Les suivis opérés par le CIDPMEM 64-40 des productions des navires professionnels, sont essentiels, mais il manque actuellement le recueil collectif des données des ramasseurs à terre. Cela permettrait d'avoir une vision plus exacte des quantités totales produites sur la côte basque. Cela pourrait passer soit par des licences de production des ramasseurs à terre qui émanerait par exemple du CIDPMEM 64-40, soit une obligation de rendre un tableau mensuel sur les quantités collectées par exemple dans le cadre des futurs arrêtés préfectoraux. Concernant la ressource, il apparaît aujourd'hui essentiel de comprendre les causes de la réduction des collectes en envisageant les problématiques environnementales (comme il avait été question au Pays basque espagnol) mais aussi les causes biologiques et toxiques telle que la suspicion d'influence de l'algue *Ostreopsis*.

4.1.2 Apport de connaissances par imagerie sous-marine

En complément des observations réalisées en plongée, un drone sous-marin a été déployé afin d'étendre la zone de prospection. Cette technique présente l'avantage d'être moins coûteuse que les échantillonnages nécessitant des plongeurs et permet de couvrir une étendue surfacique supérieure. L'analyse des images vidéo obtenues par cet engin a permis ainsi de fournir des informations sur la présence ou l'absence de champs de *Gelidium* sur des secteurs non prospectés en plongée et d'avoir une idée de la zone de colonisation (*i.e* recouvrement). L'analyse des images montre que la couverture du *Gelidium* n'est pas homogène. Les champs

les plus denses sont observés sur les zones de platiers correspondant à des successions de strates (Annexe 1), comme c'est le cas sur les secteurs d'Abbadia à Hendaye ou de Socoa. A l'inverse, les zones sableuses ou roches ensablées ne se prêtent pas à son développement. Ces observations concordent avec celles de Barbaroux et Kaas lors de leur étude sur la zone en 1999. L'utilisation de l'imagerie vidéo dans ce cas précis donne une image qualitative du recouvrement alors que l'acquisition des données par quadrat en plongée fournit des éléments quantitatifs sur l'abondance (Bajjouk et al., 2019). La connaissance des fonds marins en zone côtière et leur cartographie reposent sur l'utilisation de méthodes multi-approches combinant des outils d'imagerie acoustique (sonar à balayage latéral, sondeur multifaisceaux) et des observations *in situ* par prélèvement ou enregistrement par caméra sous-marine (Bajjouk et al., 2013). Néanmoins, une étude expérimentale sur l'évaluation du stock d'une laminaire *Saccharina japonica* réalisée dans le détroit de Tatarie par Dulenin et al. (2022) a montré que l'utilisation d'un drone sous-marin s'est révélée être l'approche optimale parmi d'autres méthodes pour estimer la biomasse de cette laminaire. Dans notre étude, les images acquises par drone ne permettent pas d'en estimer la biomasse pour plusieurs raisons : l'orientation et la stabilité du drone, la qualité de l'image pour certaines vidéos du fait des conditions météorologiques (houle, courant, particules, visibilité...) et la difficulté de distinguer les algues entre elles surtout *Gelidium corneum* vs *Halopithys incurva*. Par ailleurs, il est difficile d'évaluer le taux de jaunissement des pieds de *Gelidium* à partir de ces images. Ainsi, il convient de déployer cet engin dans des conditions de mer calmes à savoir une houle inférieure à 1 m caractérisée par une période courte, une visibilité supérieure à 5 m et à ± 1 heure de l'étales afin de limiter les courants de marée.

Les images acquises lors de ce projet constituent un potentiel d'informations qui restent à exploiter pleinement notamment au niveau du couplage habitat/*Gelidium* : la nature du substrat, les changements de faciès bio-sédimentaires, la présence des autres espèces d'algues ou encore la faune benthique (Buscher et al., 2020 ; Ager et al., 2023).

4.2 Caractéristiques de la ressource en 2022

À l'échelle de la zone « Côte basque rocheuse » la ressource en *Gelidium* apparaît relativement homogène au nord et au sud de la baie de Saint-Jean-de-Luz. Les différences plus ou moins marquées sont observées aussi bien en matière de pourcentage de recouvrement, de hauteur de pied, d'épiphytisme et de composition biochimique. Pour la hauteur des pieds, par rapport aux travaux de Kaas et Barbaroux en 1998, les valeurs de hauteur des thalles sont similaires sans pour autant faire une distinction par niveau bathymétrique. En revanche, sur la côte basco-espagnole, la longueur des frondes est significativement différente selon la bathymétrie et supérieure en profondeur (Quintano et al., 2018). Cette variable biologique n'est pas forcément à considérer comme un bon indicateur du taux de croissance car elle est affectée par de nombreux facteurs qui diffèrent entre la côte basque française et espagnole notamment l'hydrodynamisme (Martone et al., 2012) et l'orientation de la côte (Le Cam et Baraer, 2012). Seul le jaunissement apparaît comme une caractéristique qui se distingue entre les deux zones : le jaunissement est supérieur au nord de la baie.

4.2.1 Jaunissement des rameaux

La valeur moyenne de jaunissement des rameaux mesurés en plongée sur la côte basque française est autour de 11 %. Ce qui est moins important que les pourcentages observés sur la côte basque espagnole (Quintano et al., 2017). Les changements globaux sont souvent cités à l'origine de ce jaunissement, cependant, ils n'expliquent que partiellement ce phénomène (Diez et al., 2012b). Plusieurs facteurs qui n'ont pas été étudiés dans le cadre de ce travail peuvent être à l'origine de cette dégradation du thalle : origine bactériologique (Campbell et al., 2011) mais aussi écotoxicologique. Sur le même secteur d'étude, dans le cadre du projet Micropolit, Huguenin (2019) a mis en évidence la présence de PAHs, de PCBs, de muscs, de composés pharmaceutiques et de protection solaire dans les pieds de *Gelidium*. Concernant cette dernière substance, l'octocrylene, filtre UV présent dans les protections solaires est un inhibiteur du cycle de Calvin, bloquant la photosynthèse sur les végétaux (Zhong et al., 2020) et provoquant la dégradation des structures cellulaires. Or, des parties du thalle entièrement blanchies ont pu être observées en 2022 et correspondent à un stade létal des cellules (Kobayashi et Fujita, 2014). Concernant le jaunissement, il est intéressant de noter que cet aspect n'est pas mentionné dans les travaux de Barbaroux et Kaas (1999) à la fin du siècle dernier. Cette perte des pigments photosynthétiques qui se traduit par un jaunissement a été étudiée sur la côte basque espagnole (Quintano et

al., 2017). Il est observé depuis les années 2010 (Diez et al., 2012). La modification des conditions environnementales, augmentation de l'irradiance et de la température, diminution de la disponibilité en nutriments, constitue un facteur de stress et le jaunissement constitue un processus d'adaptation et de survie à ces conditions (Rico et Fernandez, 1996 ; Quintano et al, 2017).

Les travaux plus récents de Quintano et al., 2019 montrent une modification de la composition biochimique du *Gelidium* en fonction de la profondeur. Les résultats de ces travaux ont montré que le *Gelidium* qui se développe à faible profondeur avait des concentrations plus faibles de pigments photosynthétiques (Chl-a, caroténoïdes totaux, phycoérythrine) et des hauteurs de thalle plus courtes que le *Gelidium* vivant en profondeur. Concernant la hauteur des pieds de *Gelidium*, nos résultats sont similaires à ces travaux mais concernant les pigments photosynthétiques, aucune différence n'a été observée selon la profondeur. En revanche, les analyses biochimiques réalisées sur la partie jaunie du *Gelidium* révèlent une dégradation qualitative avec particulièrement une dégradation des phycobliprotéines et des chlorophylles, ceci par comparaison avec la portion du thalle non dégradée (rouge). L'augmentation observée entre 1985 et 2010 de la moyenne annuelle des radiations solaires au nord de l'Espagne et particulièrement importante en été (+6,2 W.m⁻²/ 10 ans), est évoquée comme contribuant au jaunissement (Sanchez-Lorenzo et al., 2013 ; Quintano et al., 2013).

4.2.2 Epiphytisme

L'analyse des épiphytes avait pour objectif d'acquérir des informations qualitatives et quantitatives pour évaluer un effet potentiel, qu'il soit négatif ou positif de ce volet sur la ressource. En effet, l'acquisition de ces informations sur la présence d'épiphytes sur les pieds de *Gelidium* peut avoir un effet négatif pour les champs de *Gelidium* notamment d'augmenter la vulnérabilité des pieds à l'énergie de la houle (Anderson & Martone, 2014) et une diminution de l'accessibilité à la lumière pouvant altérer la croissance et la reproduction des pieds (Sand-Jensen, 1977) mais pouvant aussi diminuer l'irradiance et donc le jaunissement des rameaux. Si peu de données n'étaient disponibles sur la côte basque française, certaines études existent pour la côte basque espagnole avec Quintano et al., (2015) qui ont étudié les épiphytes du *Gelidium* en fonction de paramètres physiques du milieu (houle et profondeur). Ces travaux font apparaître la présence de groupes taxinomiques distincts et une forte corrélation entre les espèces et la profondeur, sachant que ce paramètre influence les conditions de vie des organismes résultant de deux paramètres physiques, la lumière et la diminution de l'énergie de la houle. Il est intéressant de noter que d'un point de vue qualitatif on retrouve des espèces similaires sur la côte basque française. Entre autres, le *Plocamium cartilagineum* est le taxon dominant (Quintano et al., 2015). D'un point de vue quantitatif, ces travaux signalent une diminution du niveau d'épiphytisme sur les sites fortement exposés à la houle, ce qui pourrait expliquer un épiphytisme supérieur en profondeur.

4.2.3 Ressource selon la bathymétrie

À partir des deux profondeurs bathymétriques échantillonnées, - 3 et - 8 m, outre le jaunissement, il a été possible de mettre en évidence un effet de ce paramètre à la fois sur la hauteur des pieds, et sur le taux de recouvrement des champs.

Ainsi une diminution du taux de recouvrement est observée avec la profondeur en passant en moyenne de 73 à 57 % entre - 3 et - 8 m. Cela est confirmé par les images acquises avec le drone. À l'inverse, le jaunissement augmente avec la profondeur et passe en moyenne de 10 à 14 %. Ces résultats peuvent paraître surprenants dans la mesure où les informations collectées dans la bibliographie tendent à montrer que l'augmentation de l'irradiance est à l'origine de ce phénomène, or ce paramètre diminue avec la profondeur (Quintano et al., 2018).

Les apports côtiers des eaux continentales qui jalonnent la côte basque ainsi que les rejets des émissaires en mer des stations d'épurations situés juste en dessous du niveau des plus basses mer (0 du SHOM) pourraient provoquer un enrichissement du milieu en nutriments et rendre favorables les conditions de croissance et multiplication des pieds de *Gelidium* au niveau bathymétrique - 3 m, ceci tout en limitant les effets néfastes de la dessalure des eaux (Yokoya et de-Oliveira, 1992 ; Borja et al., 2013) et de l'irradiance sur le jaunissement par un apport de matière en suspension modifiant ainsi les propriétés optiques de la colonne d'eau. Des données

environnementales complémentaires ont été collectées auprès de Rivages ProTech ; elles concernent des caractéristiques des vagues (hauteurs significatives période, direction), la vitesse orbitale ...) issues de modèles. Des analyses préliminaires (non présentées ici) ont été conduites avec ces variables ; elles mériteraient d'être approfondies. Au niveau des sources de pression identifiées, le protocole déployé dans le cadre de ce travail ne permet pas de discriminer l'influence des émissaires des autres sources d'apports terrigènes qui jalonnent la côte basque. En effet, tous ces apports sont répartis sur l'ensemble de la zone N2000 et brassés à l'échelle de la côte basque par les entrées de houle en fond de golfe. La présence des rejets des émissaires au niveau de la zone préférentielle de colonisation entre - 3 et -8 m sur la côte basque française ne peut être comparée aux effets des émissaires sur la côte basque espagnole rejetant au-delà de la zone de colonisation du Gelidium entre - 10 et - 50 m de profondeur (Borja et al., 2013). Ainsi, un échantillonnage spécifique est indispensable pour appréhender cette pression.

4.3 Conditions de croissance de la ressource en 2022

Comme le montrent les suivis des macroalgues réalisés dans le cadre de la DCE, il existe une variabilité inter-annuelle des conditions environnementales qui influencent le développement des algues sur la côte basque (de Casamajor et al., 2021) aussi bien au niveau climatique qu'océanique. Les principaux facteurs identifiés comme impactants pour les communautés algales sont la température, la lumière, les nutriments et l'hydrodynamisme. L'année 2022 ressort comme une année atypique du point de vue des conditions climatiques. Elle est marquée par des épisodes de vagues de chaleur précoces en juin et juillet, une pluviométrie printanière inférieure à la moyenne surtout sur le premier semestre et un ensoleillement printanier important (Fig. 30). Le Gelidium étant une espèce annuelle, il est intéressant de noter que ces observations se concentrent sur la période principale de croissance du Gelidium qui conditionne la ressource disponible pour l'activité de récolte en 2022.

« année précéd. » Données climatiques pour Biarritz-Anglet - 2022 « année suiv. »

Mois	Température [°C]			Vent [km/h]		Ensoleillement ⁴ [h]	Précipitations totales ⁵ [mm]	Pression ⁶ [hPa]	
	Min. ¹	Max. ²	Moy. ³	Moy. ³	Max.			Min.	Max.
Janv.	-3.0	24.1	7.2	0	40.7	147h 6min	86.9	1007.1	1039.2
Févr.	1.9	20.0	10.2	0	44.4	124h 30min	46.2	1008.5	1036.9
Mars	4.2	22.2	12.2	0	42.6	117h 42min	108.9	1004.8	1031.3
Avr.	-0.5	26.4	12.1	0	37.0	129h 48min	96.2	992.8	1028.3
Mai	10.0	32.3	17.3	0	35.2	199h 6min	23.6	1006.5	1029.3
Juin	11.5	42.9	19.9	0	38.9	193h 12min	77.7	1007.6	1024.6
Juill.	10.5	40.1	22.3	0	35.2	304h 6min	6.4	1010.4	1029.5
Août	15.9	36.8	22.7	0	31.5	214h 24min	70.5	1006.2	1023.3
Sept	8.5	35.9	19.4	0	40.7	184h 48min	220.2	1004.2	1022.3
Oct.	11.1	31.4	20	0	37.0	115h 24min	34.6	1006.3	1029.9
Nov	5.4	24.4	13.5	0	51.9	128h 0min	300.8	1001	1031
Déc.	-1.8	21.7	11.5	0	37.0	76h 54min	68.3	995.5	1030.9
	-3.0	42.9	15.7	0	51.9	1935h 0min	1140.3	992.8	1039.2

Figure 30. Bilan des données climatiques sur la côte basque en 2022. (source : <https://www.infoclimat.fr/>)

4.3.1 Effet de l'hydrodynamisme

D'un point de vue océanique, les épisodes de houle ne présentent pas de caractères atypiques et restent dans les caractéristiques saisonnières connues sur la côte basque à partir des données existantes (Abadie et al., 2005 ; Dodet et al., 2019).

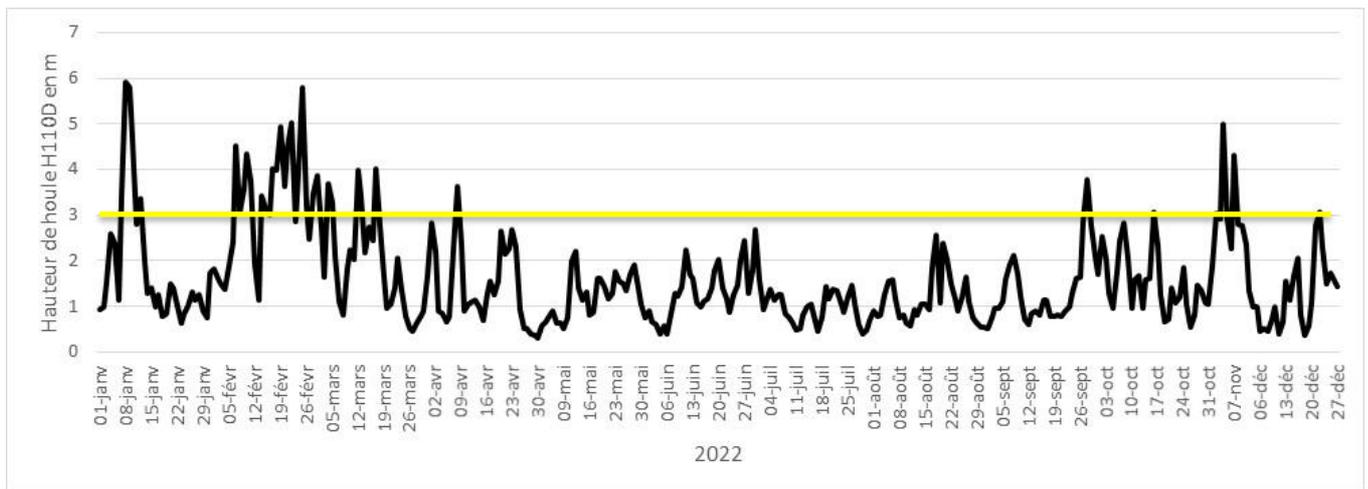


Figure 31. Épisodes de houle ; H110D = Moyenne des périodes du dixième supérieur en hauteur des vagues définies par passage au niveau moyen par valeurs décroissantes.

Les seuils de décrochage des algues se situent autour d'une hauteur de 3 m (Diez et al., 2012). Les travaux de Borja et al., (2013) indiquent une augmentation de la fréquence des houles supérieures à 5 m sur la période 1992-2012. Sur l'année 2022, les données de hauteur de houle restent à un niveau inférieur au seuil de décrochage pendant toute la période estivale. Les premières houles susceptibles de provoquer un décrochage apparaissent fin septembre. Date à partir de laquelle les algues peuvent être accessibles pour le ramassage pour les professionnels qui correspond à 15 jours près à la date d'autorisation de ramassage des navires.

4.3.2 Effet de la température de l'eau

La température de l'eau est un paramètre important influençant le développement des communautés algales. L'augmentation de la température des eaux de surface est un paramètre qui est souvent évoqué dans la bibliographie comme contribuant à la régression du *Gelidium* sur la côte basque. L'analyse des données entre 1977 et 2014 montre une augmentation de la température moyenne des eaux de surface de 0,26 °C (+/- 0,03 °C) tous les dix ans, particulièrement marquée pendant l'été (Muguerza et al., 2017). Ces travaux estiment qu'actuellement, le *Gelidium* a atteint son seuil de tolérance thermique évalué autour de 22 °C. Au-delà il se trouve en situation de stress. L'étendue des séries temporelles sur la période récente permettra de conforter cette hypothèse.

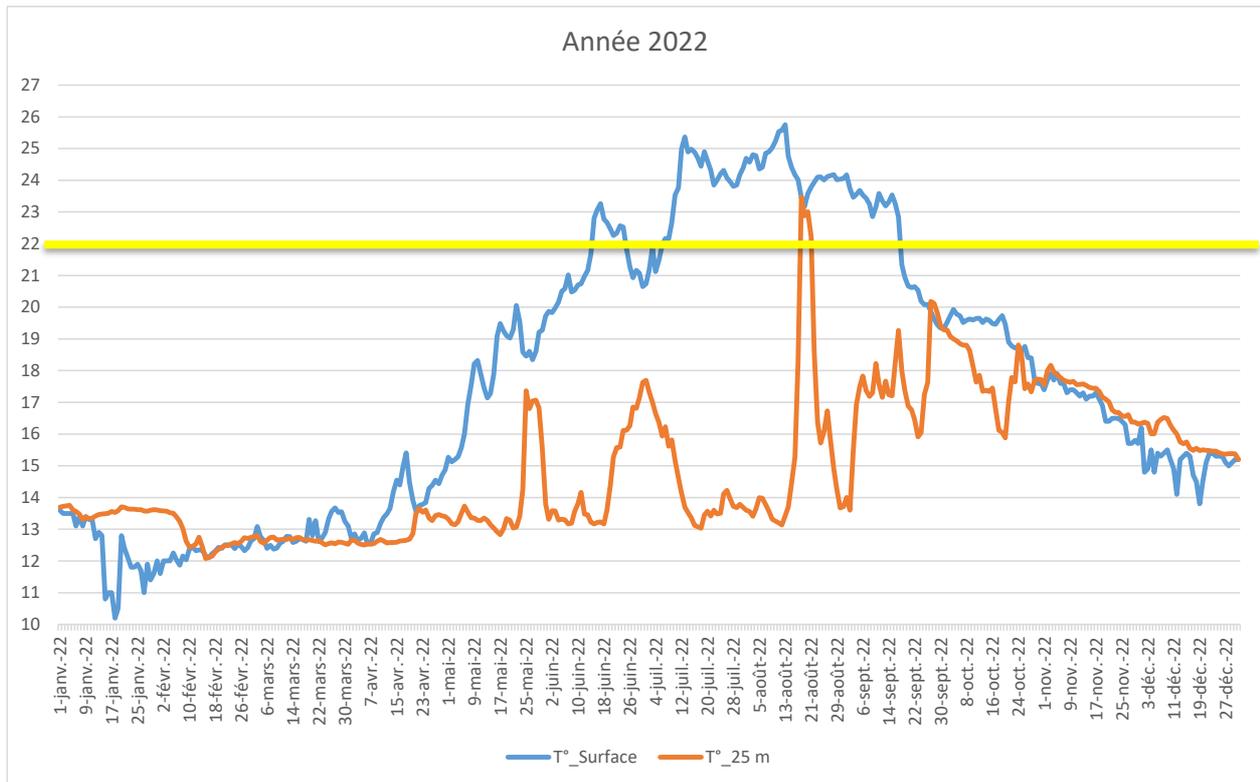


Figure 32. Conditions de température de l'eau en 2022.

Or, quand on regarde la courbe de température des eaux de surface en 2022, on constate qu'elles sont supérieures à 22°C sur une longue période estivale qui débute à la mi-juin et se poursuit jusqu'à mi-septembre, soit une période de 3 mois pendant laquelle les algues sont soumises à un stress thermique (Fig. 32). On constate que ce seuil n'est pas dépassé à une profondeur de 25 m avec une stratification thermique entre les deux (hormis quelques jours en août). Malheureusement, on ne dispose pas de données de température pour des profondeurs intermédiaires qui correspondent à la principale zone de colonisation du *Gelidium*. De ce fait, il serait intéressant d'étudier la stratification des masses d'eau dans cette tranche bathymétrique pour évaluer plus précisément la zone impactée par ces vagues de chaleur marine.

Les facteurs biotiques sont également à considérer pour des travaux futurs car dans ces travaux ne sont pas pris en compte différents paramètres comme l'impact des herbivores, la présence d'espèce invasives ainsi que l'étude de l'impact des mucilages sur l'activité photosynthétique du *Gelidium*. Les prélèvements ont permis d'identifier la présence d'*Ostreopsis* sur les différents niveaux bathymétriques. On note que le *Gelidium* est absent à partir du niveau bathymétrique de 10 m de profondeur.

5 Conclusions et Perspectives

Le protocole d'échantillonnage développé en 2022 dans le cadre de ce projet a permis de caractériser les champs de *Gelidium* à large échelle sur la côte basque tout en se focalisant sur des zones bathymétriques d'intérêt pour répondre aux problématiques ciblées dans le cadre du projet.

En ce qui concerne la filière économique, l'essentiel de la production mondiale de *Gelidium* est situé au Maroc (+ de 80 %), tandis que l'essentiel de la filière de transformation est situé en Espagne. Le prix d'achat de la production au Pays basque nord est fixé en référence au prix fixé par les industriels espagnols à Fontarabie (0,47 €/kg d'algues humides en 2022-2023). Trois sociétés espagnoles exercent un quasi-monopole sur la production au Pays basque (Hispanagar, Industrias Roko et Agar Asturias). La production des navires du CIDPMEM 64-40 a chuté depuis 3 ans de 2000 t à moins de 1000 t et la production des ramasseurs à terre s'est effondrée. Une compilation des données de récoltes en mer et à terre est nécessaire. La Coopérative La Basquaise joue un rôle central dans la filière de commercialisation. La demande mondiale est soutenue et les prix de l'agar-agar E406 et de l'agarose sont importants (120 à 200 € / kg pour l'agarose pure). En revanche, les prix payés aux producteurs au Pays basque stagnent à des niveaux relativement bas.

Les perspectives locales dépendent principalement de la compréhension de la diminution des collectes à terre et en mer, en particulier en projetant des études sur les conditions environnementales et sur les effets d'*Ostreopsis* sur la croissance et la qualité du *Gelidium*. Si les conditions de poursuite des activités de récolte sont réunies, des possibilités d'investissement dans des laveuses ou un séchoir sont à étudier dans un premier temps.

L'utilisation du drone était en phase de test. Cela a permis de montrer sa faisabilité mais également ses limites et ainsi de cerner les conditions d'utilisation pour obtenir des images, de qualité, exploitables pour valoriser les résultats. Cet outil, non destructif, permet de prospecter une superficie beaucoup plus vaste que via l'utilisation de plongeurs et ainsi d'extrapoler les surfaces de recouvrement à large échelle. En revanche, l'apport de la plongée reste indispensable car cette technique permet d'acquérir des données ciblées et de réaliser les mesures *in situ* indispensables à la caractérisation des champs en place. Ainsi, le couplage des deux méthodes est très complémentaire pour appréhender cette ressource d'un point de vue qualitatif et quantitatif.

Dans le but d'approfondir nos connaissances sur la façon dont les facteurs océano-climatiques influencent la variabilité qualitative et quantitative de cette ressource, il est nécessaire de mettre en place une station d'observation permettant de mesurer les facteurs influençant la colonisation et la croissance des algues : irradiance (turbidité, ensoleillement), nutriments (pluviométrie, rejets fluviaux et anthropiques) et température dans la colonne d'eau. Les outils existent déjà pour suivre l'évolution de l'hydrodynamisme. La compréhension de l'interaction de ces facteurs est un enjeu majeur pour comprendre l'évolution de cette ressource annuelle. La mise en place des prospections régulières, voire à un pas de temps qui reste à déterminer, par imagerie de drone au printemps et la réalisation en parallèle des prélèvements en plongée permettraient de suivre l'évolution de cette ressource mais c'est une proposition qui reste lourde à mettre en œuvre.

De plus, depuis 2020, la côte basque française et espagnole est soumise à des proliférations de la microalgue toxique *Ostreopsis spp.* qui recouvre le thalle du *Gelidium* sous la forme d'un mucus dont l'impact sur sa composition biologique et biochimique n'a pas encore été étudié. Ce projet a permis de confirmer la présence de ces algues toxiques aux trois profondeurs échantillonnées soit jusqu'à - 10 m. Par ailleurs, la qualité de certains lots a été remise en cause par un acheteur espagnol en raison de la présence d'algues unicellulaires non déterminées. Ce volet constitue une piste de travail d'intérêt, tant sur le plan écologique pour évaluer la survie des pieds recouverts de mucus mais aussi sur le plan économique, pour évaluer la qualité de ce dernier à travers l'impact du mucus sur les propriétés biochimiques des pieds de *Gelidium*.

L'analyse de ces résultats et de la littérature montre que le jaunissement est un phénomène antérieur à l'apparition d'*Ostreopsis* sur la côte basque. Les causes du jaunissement des rameaux peuvent être d'origine environnementale (phénomène d'irradiance et modification des propriétés optiques de la colonne d'eau) mais pas seulement puisqu'une implication bactérienne et éco-toxicologique avec possiblement un effet cocktail est également à considérer. Appréhender cet aspect nécessite donc un projet à part entière, réunissant les compétences scientifiques inhérentes à ces différentes disciplines.

6 Bibliographie

- Abadie S., Butel R., Dupuis H., Brière C., 2005. Paramètres statistiques de la houle au large de la côte sud-aquitaine Comptes Rendus Geoscience, 337, Issue 8 : 769-776
- Ager T.G., Krause-Jensen D., Olesen B., Carlson D.F., Winding M.H.S., Sejr M.K., 2023. Macroalgal habitats support a sustained flux of floating biomass but limited carbon export beyond a Greenland fjord. Science of the Total Environment, 872, 162224, p. 1-11.
- Agrocampus Ouest., 2011. La filière française des macroalgues. www.netalgae.eu.
- Alexandre A., Mallet C., Dubreuilh J., 2003. Etude de l'érosion de la Côte Basque. Synthèse bibliographique. Rapport BRGM/RP-52370-FR, 125 p., 32 fig., 4 tab., 30 photos, 3 ann.
- Anderson R.J., Bolton J.J., Molloy FJ, Rotmann KWG, 2003. Commercial seaweed production and research in southern Africa. In: Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium. Oxford University Press, Oxford, pp. 1–12
- Anderson L.M., Martone P.T., 2014. Biomechanical consequences of epiphytism in intertidal macroalgae. J. Exp. Biol. 217:1167-1174. <http://dx.doi.org/10.1242/jeb.088955>
- Araújo R, Vázquez Calderón F, Sánchez López J, Azevedo IC, Bruhn A, Fluch S, Garcia Tasende M, Ghaderiardakani F, Ilmjärv T, Laurans M, Mac Monagail M, Mangini S, Peteiro C, Rebours C, Stefansson T and Ullmann J., 2021. Current status of the algae production industry in Europe: an emerging sector of the blue bioeconomy. Font. Mar. Sci., 7(626389). doi: 10.3389/fmars.2020.626389
- Armisen, R., 1991. Agar and agarose biotechnological applications. In: Juanes, J.A., Santelices, B., McLachlan, J.L. (Eds.), International Workshop on Gelidium. Developments in Hydrobiology. Springer International Publishing, pp. 167-168. doi:10.1007/978-94-011-3610-5_15
- Avila M, Seguel M., 1993. An overview of seaweed resources in Chile. J Appl Phycol, 5, pp. 133–139
- Augris C., Cailly-Milly N., Casamajor (de) M.-N., 2009. Atlas thématique de l'environnement marin du Pays basque et du sud des Landes. Éd. Quae, 127 p
- Baby Ushakiran MS, Merlee Treesa MV, Kaladharan P., 2014. Review on resources, cultivation and utilisation of marine macroalgae in India. Seaweed Res Util, 36, pp. 114–125
- Bajjouk T., Cordier C., Auby I., Liabot P.O., Kernino F., Le Bouffant, N., Trut G., Oger - Jeanneret H., 2019. Cartographie des herbiers de zostères - Guide technique. Convention Ifremer-AQUAREF Thème Formation et outils 2016-2018. Edition Ifremer. REF. DYNECO/LEBCO/19-01/TB. 105 p.
- Bajjouk T., Rochette S., Ehroldh A., Cordier C., Tourolle J., Laurans M., Hamdi A., Gorman D., Gaffet J.D., Caisey X., Vasquez M, Populus J., 2013. Cartographie prédictive du champ de laminaires du plateau de Molène sur la base de données physiques et biologiques. Rapport Ifremer DYNECO/AG/13-03/TB, 93 p.
- Barbaroux O., Kaas R., 1999. Exploitation de la ressource en algue rouge *Gelidium sesquipedale* de la Bidassoa à l'Adour., Étude de l'impact d'une récolte industrielle par plongeur sur la ressource et sur les autres formes actuelles de ramassage. Rapport interne Ifremer, 26 p.
- Booth J.D., Cox O., 2003. Marine fisheries enhancement in New Zealand: Our perspective, New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 37:4, 673-690, DOI: 10.1080/00288330.2003.9517198.
- Borja A., 1987. Cartografía, evaluación de la biomasa y arribazones del alga *Gelidium sesquipedale* (Clem.) Born. et Thur 1876 en la costa vizcaína (N. de España). Investigación Pesquera, 52, pp. 85-107
- Borja A., Fontan A., Muxika I., 2013. Interactions between climatic variables and human pressures upon a macroalgae population: implications for management. Ocean Coast Manag, 76, pp. 85-95. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2013.02.023

- Borja A., Chust G., Fontan A., Garmendia J., Uyarra M., 2018. Long-term decline of the canopy-forming algae *Gelidium corneum*, associated to extreme wave events and reduced sunlight hours, in the southeastern Bay of Biscay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 205, pp. 152-160.
- Buscher E., Mathews D.L., Bryce C, Bryce K., Joseph D. and Ban N.C., 2020. Applying a Low Cost, Mini Remotely Operated Vehicle (ROV) to Assess an Ecological Baseline of an Indigenous Seascape in Canada. *Front. Mar. Sci.* 7:669. doi: 10.3389/fmars.2020.00669
- Buschmann A., Camus C., Infante J., Neori A., Israel A., Hernandez-Gonzalez M.C., Pereda S.V., Gomez-Pinchetti, Golberg A., Tadmor-Shalev, Critchley, A., 2017. Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. *European Journal of Phycology*, 52(4), pp. 391-406. doi:10.1080/09670262.2017.1365175
- Callaway E., 2015. Lab staple agar hit by seaweed shortage. *Nature*, 528, pp. 171-172. doi:10.1038/528171a
- Campbell A.H., Harder T., Nielsen S., Kjelleberg S., Steinberg P.D., 2011. Climate change and disease: bleaching of a chemically defended seaweed. *Global Change Biology* 17, 2958–2970, doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02456.x
- Casado-Amezua P., Araujo R., Barbara I., Bermejo R., Borja, A., Diez I., Martinez B., 2019. Distributional shifts of canopy forming seaweeds from the Atlantic coast of Southern Europe. *Biodiversity and Conservation*, p. 23. doi:10.1007/s10531-019-01716-9
- Casamajor (de) M.N., Mahias J., Bru N., et Caill-Milly N., 2014. Analyse des ressources et des caractéristiques individuelles du stock d'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) du territoire 64 », Rapport Ifremer RBE/HGS/LRHA 14-004, 63 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00218/32889/>.
- Casamajor (de) M.N., Lalanne Y., 2016. Intérêt biogéographique de la côte basque rocheuse. *Bull. Soc. Zool. Fr*, 141(1) : 3-13.
- Casamajor (de) M.N., Huguenin L., Lissardy M., 2017. Prospection et échantillonnage des émissaires en mer au large de la côte basque, MICROPOLIT. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER/AR/17.012, 41 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00406/51739/52687.pdf>
- Casamajor (de) M.N., Huguenin L., Lalanne Y., Lissardy M., 2019. Échantillonnage des émissaires en mer au large de la Côte Basque. Application du protocole DCE/DSCMM. Campagne 2018 / Année 2. Rapport Ifremer ODE\UL\LERAR\19-002, 41 p.
- Casamajor (de) M.N., Derrien-Courtel S., Lalanne Y., Gorostiaga J.M., Le Gal A., Huguenin L., Quintano E., Lissardy M., 2021. *Cystoseira baccata* meadows along the French Basque coast (Bay of Biscay) as a reference for the implementation of the Water Framework and Marine Strategy EU directives. *Continental Shelf Research*, 182, 12-21. Publisher's official version: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.05.017>, Open Access version: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00500/61151/>
- Casamajor (de) M.N., Lissardy M., Sanchez F., Yann L., 2022. SUIVI DCE 2021 Macroalgues intertidales pour la masse d'eau côtière FRFC11 Côte basque. Rapport Ifremer ODE/UL/LERAR/22.004. 58 p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00767/87934/93533>.
- Castejón N., Parailoux M., Izdebska A., Lobinski R., Fernandes S.C.M., 2021. 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>
- CEVA.blog. (2022, Novembre). Un plan de filière national macroalgues en construction !
- Chiheb H., Garcia-Jimenez P., Robaina R., Hassoun M., & Riadi H., 2018. Développement d'un stock de semences (seedstocks) de l'algue rouge *Gelidium corneum* (Gelidiaceae, Rhodophyta). *European Scientific Journal*, 14(6), pp. 112-123. doi:10.19044/esj.2018.v14n6p112
- Chust G., González M., Fontán A., Revilla M., Alvarez P., Santos M., Cotano U., Chifflet M., Borja A., Muxika I., Sagarminaga Y., Caballero A., de Santiago I., Epelde I., Liria P., Ibaibarriaga L., Garnier R., Franco J., Villarino E., Irigoien X, Fernandes-Salvador J-A., Uriarte A., Esteban X., Orue-Echevarria D., Figueira T.,

- Uriarte A., 2022. Climate regime shifts and biodiversity redistribution in the Bay of Biscay. *Science of the total Environment*, 803 : 149622. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149622 0048-9697
- CIDPMEM, 2023. Exploitation de l'algue rouge *Gelidium corneum* par les marins pêcheurs du CIDPMEM 64-40. Bilan de la campagne 2022-2023, Rapport CIDPMEM 64-40, 29 pp.
- Cochran, W.G., 1977. *Sampling Techniques*. 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York
- Creocean-Ima, 2014. Natura 2000 en mer – Lot 4 Aquitaine côte basque. Cartographie et évaluation des habitats marins phase 2. Rapport projet Cartham 2-10007-S Agence Nationale des Aires Marines Protégées, 145 p.
- Davies C., Moss D., O'Hill M., 2004. Eunis 20004, Eunis habitat classification revised, 310 p.
- Dejeans A., 2011. Le voyage de l'algue rouge. SudOuest.fr <http://www.sudouest.fr/2011/03/22/le-voyage-de-l-algue-rouge-349806-2601.php>. Accessed 22 Nov 2017
- Dejeans A., 2016. Pays basque: une algue rouge si convoitée. SudOuest.fr <http://www.sudouest.fr/2016/10/22/une-algue-si-convoitee-2543901-4160.php>. Accessed 22 Nov 2017
- Derrien-Courtel S., Le Gal A., 2014. Mise en réseau des suivis des biocénoses des roches subtidales de la façade Manche/Atlantique & Élaboration d'une stratégie d'Évaluation de leur État de Conservation. - Protocole ECBRS – version 5. 18 p
- Diebo A., Herpe E., 2007. Liste de répartition des algues marines des côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique, Iles Anglo-Normandes incluses. Ed. Scientifiques Anaximandre, 315 p.
- Díez I., Bustamante M., Santolaria A., Tajadura J., Muguerza N., Borja A., Muxika I., Saiz-Salinas J.I., Gorostiaga J.M., 2012a. Development of a tool for assessing the ecological quality status of intertidal coastal rocky assemblages, within Atlantic Iberian coasts. *Ecological Indicators*, vol. 12, no 1, p. 58-71, doi: 10.1016/j.ecolind.2011.05.014.
- Díez I., Muguerza N., Santolaria A., Ganzedo U., Gorostiaga J.M., 2012b. Seaweed assemblage changes in the eastern Cantabrian Sea and their potential relationship to climate change. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 99, 108-120.
- Dizerbo A., et Herpe E., 2007. Liste et répartition des algues marines des côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique, Iles Anglo-Normandes incluses. Landerneau, Editions ANAXIMANDRE : 315 p.
- Dodet G., Bertin X., Bouchette F., Gravelle M., Testut L., Wöppelmann G., 2019. Characterization of sea-level variations along the metropolitan coasts of France: waves, tides, storm surges and long-term changes. *J. of Coastal Research*, 88:10-24.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F., 1956. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, 28 (3), 350-356; DOI: 10.1021/ac60111a017
- Dulenin A.A., Kharitonov A.V., Sviridov V.V., 2022. Selection of an Optimum Method for the Assessment of the *Saccharina japonica* Stock in the Northwestern Tatar Strait. *Russian Journal of Marine Biology*, Vol. 48, no7, p. 678–687.
- Fernandez, C., 1991. Biological and economic importance of the genus *Gelidium* in Spain. *Inf. Tec. Investig. Pesq.*, 163, pp. 1-20.
- Folin (de), L., 1903. *Pêches et chasses zoologiques*. Éd. Petite bibliothèque scientifique, Paris, 332 p.
- Fujimoto M, Nishihara GN, Prathep A, Terada R., 2014. The effect of irradiance and temperature on the photosynthesis of an agarophyte, *Gelidiella acerosa* (Gelidiales, Rhodophyta), from Krabi, Thailand. *J Appl Phycol*, 27, pp. 1235–1242
- Fujita D., Ishikawa T., Kodama S., Kato Y., Notoya M., 2006. Distribution and recent reduction of *Gelidium* beds in Toyama Bay, Japan. *J Appl Phycol*, 18, pp. 591-598.
- Gallet F., Ducommun-Rigole L., Caill-Milly N., Lesueur M., Gueguen A., Lissardy M., Morandeau G., Le Grand C., 2019. Étude du poids socio-économique de la filière pêche dans le quartier maritime de Bayonne.

- Rapport final du projet EPOSE (Étude du POids Socio-Economique de la filière pêche dans le quartier maritime de Bayonne). CIDPMEM64-40/Ifremer/Agrocampus Ouest/CRPMEM Nouvelle-Aquitaine, 56 pages. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00634/74660/>
- Ganesan M, Selvaraj K, Chithra K, Sirajudeen S., 2014. Epiphytism differences in *Gelidiella acerosa* cultivated with floating rafts and concrete blocks. *J Appl Phycol*, 27, pp. 399–412.
- Givernaud T, Mouradi A., 2006. The seaweed resources of Madagascar. In: Critchley AT, Ohno M, Largo DB, editors. *World Seaweed Resources (DVD)* Amsterdam: ETI Information Services Ltd.
- Genna A., Capdeville J.P., Mallet C. et Deshayes L., 2004. Observatoire de la Côte Aquitaine – Etude géologique simplifiée de la Côte Basque. Rapport BRGM/RP-53258-FR, 42 p., 25 ill.
- Gorostiaga J.M., 1994. Growth and production of the red alga *Gelidium sesquipedale* off the Basque coast (northern Spain). *Marine Biology*, 120, p. 311-322.
- Higgins J., Peon Torre P., Rico J., 2022. Analysis of the red seaweed *Gelidium corneum* harvest in the Cantabrian Sea and its influence on resource sustainability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 274, p. 8p. doi:10.1016/j.ecss.2022.107956
- Huguenin L., Lalanne Y., de Casamajor MN., Gorostiaga J.M., Quintano E., Salerno M., Monperrus M., 2019. Impact of wastewater treatment plant discharges on macroalgae and macrofauna assemblages of the intertidal rocky shore in the southeastern Bay of Biscay. *Continental Shelf Research*, 181, p. 34-49.
- Idealg. 2023. www.idealg.org/fr.
- Juanes J., Borja A., 1991. Biological criteria for the exploitation of the commercially important species of *Gelidium* in Spain. *Hydrobiologia*, 221, pp. 45-54.
- Kaas R., 1998. The seaweed resources of France. In: Critchley A.T., Ohno M. (eds) *Seaweed resources of the world*. JICA, pp. 233–244.
- Kobayashi M, Fujita D., 2014. Can thallus color of red algae be used as an environmental indicator in shallow waters? *J Appl Phycol*, 26: 1123–1131, Doi 10.1007/s10811-013-0165-6.
- Le Cam H. et Baraer F., 2012. Climatologie marine. Sous-région marine Golfe de Gascogne. Evaluation initiale DCSMM. MEDDE, AAMP, Ifremer, Ref. DCSMM/EI/EE/GDG/01/2012, 8p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00329/43998/>
- Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr L., Randall R.J., 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, Volume 193, Issue 1, 265-275, Doi 10.1016/S0021-9258(19)52451-6.
- Luxton D.M., Courtney W.J., 1987. New developments in the seaweed industry of New Zealand. In: Twelfth International Seaweed Symposium. Springer, Dordrecht, pp. 291–293.
- Marinho-Soriano E., Bourret E., 2003. Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (*Gracilariaceae*, *Rhodophyta*). *Biorest. Techn.* 90, pp. 329-333.
- Martone P.T., Kost L., Boller M., 2012. Drag reduction in wave-swept macroalgae: alternative strategies and new predictions. *Am. J. Bot.* 99(5), 806-15.
- McHugh D., 1991. Worldwide distribution of commercial resources of seaweeds including *Gelidium*. *Hydrobiologia*, 221, pp. 19-29. doi:10.1007/BF00028359
- Melo R., 1998. *Gelidium* commercial exploitation: natural resources and cultivation. *Journal of Applied Phycology*, 10(3), pp. 303-314.
- Moigno (le) G., Duvauchelle C., 2015. Docob N2000 : Documents d'objectifs Natura 2000, rapport de synthèse., DREAL Aquitaine et DDTM64, 202p.
- Mouradi A., Benharbit O., Hassani L.M., Mouradi A., Bennis M., Givernaud T., 2007. Analyse de la croissance et des variations morphologiques saisonnières de *Gelidium sesquipedale* (Turner) Thuret (*Rhodophyceae*, *Gélidiales*) de la côte atlantique marocaine. *Afrique Science* 03(3), 434-460. Doi: 10.4314/afsci.v3i3.68964.

- Muguerza N., Díez I., Quintano E., Bustamente M., Gorostiaga J.M., 2017. Structural impoverishment of the subtidal vegetation of southeastern Bay of Biscay from 1991 to 2013 in the context of climate change. *Journal of Sea Research*, 130:166-179. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.06.006>
- Muguerza N., Bustamente M., Díez I., Quintano E., Tajadura F.J., Saiz-Salinas J.L., Gorostiaga J.M., 2020. Long term surveys reveal abrupt canopy loss with immediate changes in diversity and functional traits. *Marine Biology* 167 : 61 <https://doi.org/10.1007/s00227-020-3675-1>
- Muguerza N., Díez I., Quintano E., Gorostiaga J.M., 2022. Decades of biomass loss in the shallow rocky subtidal vegetation of the south-eastern Bay of Biscay. *Marine Biodiversity*, 52:28. <https://doi.org/10.1007/s12526-022-01268-2>.
- Osório C.; Machado S.; Peixoto J.; Bessada S.; Pimentel F.B.; C. Alves, R.; Oliveira, M.B.P.P., 2020. Pigments Content (Chlorophylls, Fucoxanthin and Phycobiliproteins) of Different Commercial Dried Algae. *Separations*, 7, 33. <https://doi.org/10.3390/separations7020033>
- Porse H., Rudolph B., 2017. The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook. *J Appl Phycol*, 29, pp. 2187-2200.
- Quintano E., Ganzedo U., Díez I., Figueroa F.L., Gorostiaga J.M., 2013. Solar radiation (PAR and UVA) and water temperature in relation to biochemical performance of *Gelidium corneum* (Gelidiales, Rhodophyta) in subtidal bottoms off the Basque coast », *Journal of Sea Research*, vol. 83, p. 47-55, doi: 10.1016/j.seares.2013.05.008.
- Quintano E., Díez I., Muguerza N., Santolaria A., Gorostiaga J.M., 2015. Epiphytic flora on *Gelidium corneum* (Rhodophyta: Gelidiales) in relation to wave exposure and depth., *Sci. Mar.*, vol. 79, no 4, p. 479-486, doi: 10.3989/scimar.04239.08B.
- Quintano E., Díez I., Muguerza N., Figueroa F.L., Gorostiaga J.M., 2017. Bed structure (frond bleaching, density and biomass) of the red alga *Gelidium corneum* under different irradiance levels. *Journal of Sea Research* 130, p. 180–188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2017.02.008>
- Quintano E., Díez I., Muguerza N., Figueroa F.L., Gorostiaga J.M., 2018. Depth influence on biochemical performance and thallus size of the red alga *Gelidium corneum* », *Mar Ecol*, vol. 39, no 1, p. e12478, doi: 10.1111/maec.12478.
- Quintano E., Celis-Plá P.S.M., Martínez B., Díez I., Muguerza N., Figueroa F., Gorostiaga J.M., 2019. Ecophysiological responses of a threatened red alga to increased irradiance in an in situ transplant experiment. *Marine Environmental Research*, vol. 144, p. 166-177, doi: 10.1016/j.marenvres.2019.01.008.
- Rico J. M., Fernández C., 1996. Seasonal nitrogen metabolism in an intertidal population of *Gelidium latifolium* (Gelidiaceae, Rhodophyta). *European Journal of Phycology*, 31, 149–155. <https://doi.org/10.1080/09670269600651321>
- Rollon R.N., Samson M.S., Roleda M.Y., Arano K.G., Vergara MW.B, Licuanan W.Y., 2003. Estimating biomass from the cover of *Gelidiella acerosa* along the coasts of eastern Philippines. *Bot Mar*, 46, pp. 497–502.
- Sanchez-Lorenzo A., Calbo I., Wild M., 2013. Global and diffuse solar radiation in Spain: building a homogeneous dataset and assessing their trends. *Glob. Planet Chang.* 100, 343-352.
- Sand-Jensen K. 1977. Effect of epiphytes on eelgrass photosynthesis. *Aquat. Bot.* 3: 55-63. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-3770\(77\)90004-3](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3770(77)90004-3)
- Santos R., Duarte P., 1991. Marine plant harvest in Portugal. *J Appl Phycol*, 3, pp. 11–185.
- Santos R., Melo R., 2018. Global shortage of technical agars: back to basics (resource management). *J. Appl. Phycol.*, 30, pp. 2463-2473. doi:10.1007/s10811-018-1425-2
- Sauvageau C., 1897. Note préliminaires sur les algues marines du golfe de Gascogne. *Journal de botanique*, 11:175-190.

Schiel D.R., Nelson W.A., 1990. The harvesting of macroalgae in New Zealand. *Hydrobiologia*, 204, pp. 25-33.

Soegiarto A.S., 1990. Utilization and farming of seaweeds in Indonesia. In: Dogma I.J., Trono G.C., Tabbada R.A. (Eds.), *Culture and use of algae in Southeast Asia: Proceedings of the Symposium on Culture and Utilization of Algae in Southeast Asia*, pp. 9-19

Tierney M.S., Smyth T.J., Rai D.K., Soler-Vila A., Croft A.K., Brunton N., 2013. Enrichment of polyphenol contents and antioxidant activities of Irish brown macroalgae using food-friendly techniques based on polarity and molecular size, *Food Chemistry*, Volume 139, Issues 1–4, 753-761, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.019>.

Torres M., Niell F.X., Algarra P., 1991. Photosynthesis of *Gelidium sesquipedale*: effects of temperature and light on pigment concentration, C/N ratio and cell-wall polysaccharrides. *Hydrobiologia*, 221, pp. 77–82.

Voerman S., Llera E., Rico J., 2013. Climate driven changes in subtidal kelp forest communities in NW Spain. *Marine Environmental Research*, 90, pp. 119-127.

Yokoya N., & De-Oliveira E., 1992. Effects of salinity on the growth rate, morphology and water content of some Brazilian red algae of economic importance. *Ciencias Marinas*, 18(2), 49–64. <https://doi.org/10.7773/cm.v18i2.893>.

Zhong X, Downs CA, Li Y, Zhang Z, Li Y, Liu B, Gao H, Li Q., 2020. Comparison of toxicological effects of oxybenzone, avobenzone, octocrylene, and octinoxate sunscreen ingredients on cucumber plants (*Cucumis sativus* L.). *Sci Total Environ.*, 714:136879. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136879. Epub 2020 Jan 22. PMID: 32018996.

7 Annexes

Annexe 1

Exemples de recouvrement du Gelidium estimé sur les images du drone sous-marin (absence, pieds épars, champs)

Abbadia



1-T2 Abbadia - 23/06/2022 10 :09 :39 - Image 00012



2- T3 Abbadia - 23/06/2022 11 :44 :20 - Image 00171



3- T4 Abbadia - 11/07/2022 11 :10 :40 - Image 00058

Urrugne



1-T2 - 18/07/2022 12 :15 :49 - Image 00020



2- T6 - 18/07/2022 12 :39 :52 - Image 00006



3- T6 - 18/07/2022 12 :42 :53 - Image 00012

Socoa



1-T10 - 18/07/2022 11 :15 :47 - Image 00011



2- T10 - 18/07/2022 11 :23 :18 - Image 00023



3- T10 - 18/07/2022 11 :25 :48 - Image 00028

Saint-Jean-De-Luz



1-T23 - 18/07/2022 09 :39 :59 - Image 00039



2- T20 - 18/07/2022 10 :04 :39 - Image 00104



3- T18 - 08/07/2022 11 :20 :45 - Image 00037

Annexe 2

Présentation du livrable de 4 pages

Le Gelidium

une algue fantastique



© MN de Casa major / Ifremer

PRÉSENTATION

Le projet Gelidium 64 est né d'une collaboration entre 3 structures de recherche et d'appui aux collectivités locales, l'UPPA, l'Ifremer et CAPENA dont les compétences complémentaires permettent d'apporter de la connaissance sur le caractère « fantastique » de l'espèce d'algue rouge emblématique de la côte basque : *Gelidium coulteri*. Ce caractère se traduit à plus d'un titre sur le plan écologique, patrimonial et économique.



La côte basque rocheuse est classée en aire marine protégée au titre de N2000, notamment en raison de la présence d'habitats remarquables dont l'habitat « récif ». Sur la portion de récif où la lumière pénètre suffisamment (zone infralittorale) le *Gelidium* est la principale espèce d'algue rouge présente en terme de superficie où elle forme un habitat spécifique. D'un point de vue **écologique**, en tant que producteur primaire, le *Gelidium* joue un rôle important dans le développement de la chaîne alimentaire, de l'assimilation du dioxyde de carbone et de la libération de l'oxygène en zone côtière. D'un point de vue **fonctionnel**, sa structure tridimensionnelle constitue une véritable canopée représentant une zone d'abri, de nourriture et de nurserie pour les stades larvaires de poissons et invertébrés marins tels que les céphalopodes par exemple. Ainsi, de nombreuses espèces végétales et animales vivent associées au *Gelidium*, ce dernier favorisant la biodiversité littorale. Enfin d'un point de vue **patrimonial**, la côte basque rocheuse est la seule zone maritime de la façade Atlantique française qui présente de véritables champs de *Gelidium* constituant un habitat à part entière. La collecte et valorisation de cette ressource naturelle représente une ressource **économique** remarquable et unique en France. La filière est localement une source d'emploi importante.

Les objectifs de ce projet se déclinent en 4 grands axes :

1. **Caractériser les champs de *Gelidium* sur la côte basque** au cours d'une campagne d'échantillonnage dédiée ;
2. **Visualiser par imagerie sous-marine la répartition du *Gelidium*** à l'échelle de la zone principale de colonisation, l'étendue des champs ainsi que les habitats présents ;
3. **Évaluer la qualité du *Gelidium*** prélevé d'un point de vue biochimique, propriétés moléculaires d'intérêt des algues ;
4. **Caractériser l'activité de pêche** actuelle du *Gelidium* et son historique à partir d'un état des lieux de la filière.





Orthotorale V2 - ministère en charge de l'environnement
Ifremer (Lissardy M)

Projection WGS84 Localisation des transects ciblés pour l'échantillonnage du Gelidium, les prélèvements ont été réalisés sur des stations localisées à 3 m et à 8 m de profondeur, au nord et au sud de la baie de Saint-Jean de Luz

1. Caractériser les champs de Gelidium sur la côte bas que

Les données acquises en plongée concernent la hauteur et le nombre de pieds, le pourcentage de recouvrement, le jaunissement pour :

- 15 transects
- 2 niveaux bathymétriques (3 et 8 m)
- 150 quadrats
- 1815 pieds de Gelidium étudiés



Valeurs moyennes en 2022 :

- Recouvrement : 50 à 75 %
- Hauteur des pieds : 23 à 25 cm
- Jaunissement : +/- 11 %

À retenir - Les caractéristiques du Gelidium sont homogènes à l'échelle de la zone du nord au sud de la baie de Saint-Jean-de-Luz sauf pour le jaunissement des rameaux qui apparaît supérieur au nord de la baie. En revanche, le pourcentage de recouvrement diminue avec la profondeur tandis que le jaunissement des rameaux augmente. La lumière semble être un facteur clé du recouvrement et du jaunissement des rameaux du Gelidium. Cette ressource présente de bons niveaux de colonisation supérieurs à ceux observés sur la côte basque espagnole.

2. Visualiser par imagerie sous-marine la répartition du Gelidium

Les données acquises par drone sous marin concernent la caractérisation des habitats et le recouvrement selon 3 modalités pour :

- 10 transects
- 20 vidéos
- 648 images traitées

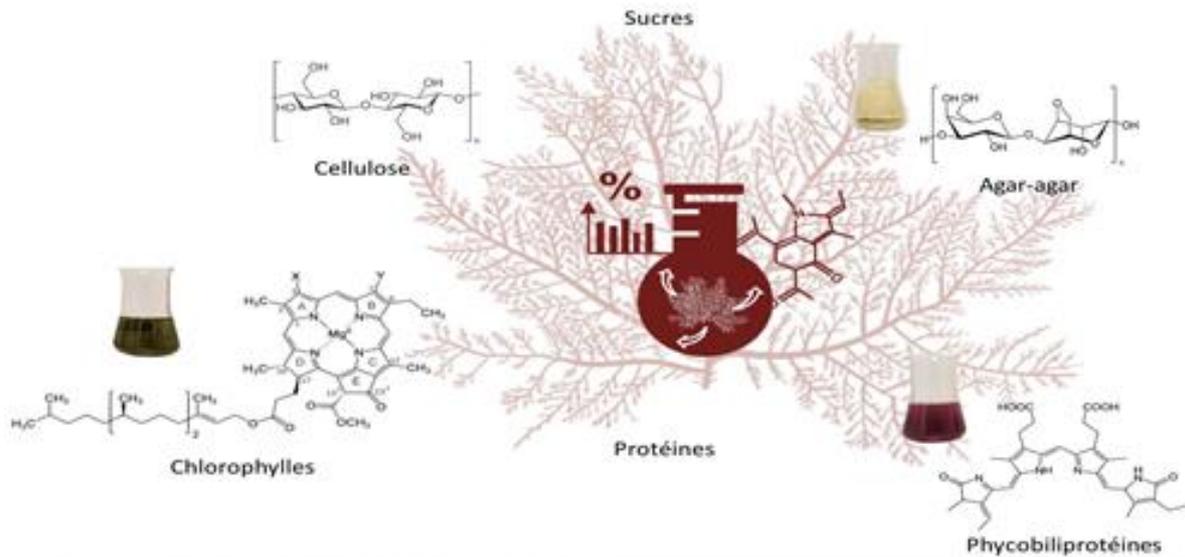


Bilan des observations :

- Couverture non homogène
- Champs denses sur les plateaux rocheux
- Autres algues fixées sur les roches en saillies
- Pieds épars sur les arrêtes de roches

À retenir - Les images acquises en drone permettent de préciser la couverture des champs de Gelidium à une échelle spatiale plus large que par la plongée en scaphandre autonome. Ces images constituent un potentiel d'informations pour caractériser les changements environnementaux : faciès bio-sédimentaires, modification au sein des communautés.

Composition biochimique



3. Évaluer la composition biochimique du Gelidium

Les données acquises en plongée concernent les prélèvements sur quadrats :

- 15 prélèvements à 3 m
- 15 prélèvements à 8 m
- Biomasse
- Épiphytisme



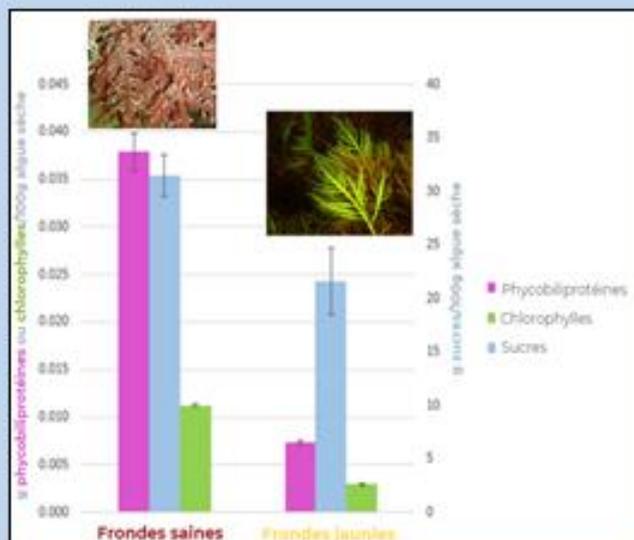
Valeurs moyennes en 2022 (g/100 g poids sec) :

Phycobiliprotéines : 0,02 à 0,165

Chlorophylles : 0,01 à 0,045

Sucres : 0,08 à 0,14

À retenir - Les caractéristiques biochimiques des échantillons analysés ne présentent pas de différences significatives à l'échelle de la côte basque rocheuse entre : le nord et le sud de la baie de Saint-Jean-de-Luz et les deux profondeurs échantillonnées. Il est intéressant de noter qu'une analyse réalisée pour un des quadrats sur la partie jaunie des pieds présente une diminution des teneurs en phycobiliprotéines, en chlorophylles et en sucres (Agar-agar) par rapport aux analyses réalisées sur la partie saine des pieds.



4. Activité de récolte actuelle du Gelidium et son historique à partir d'un état des lieux de la filière



© P. Fossegué / CAPENA

- L'essentiel de la production mondiale de Gelidium est situé au Maroc (+ de 80 %) tandis que la filière de transformation est située principalement en Espagne. Trois sociétés espagnoles exercent un quasi-monopole sur la production au Pays basque (Hispanagar, Industrias Roko et Agar Asturias).

- La production des navires du CIDPMEM 64-40 a chuté depuis 3 ans de 2000 t à moins de 1000 t et la production des ramasseurs à terre s'est effondrée. Une compilation des données de récoltes en mer et à terre est nécessaire.

- La coopérative La Basquaise joue un rôle central dans la filière de commercialisation. Le prix d'achat de la production au Pays basque nord est fixé en référence au prix fixé par les industriels espagnols à Fantarrachie (0,47 €/kg d'algues humides en 2022-2023).

- La demande mondiale est soutenue et les prix de l'agar-agar E406 et de l'agarose sont importants (120 à 200 €/kg pour l'agarose pure). En revanche, les prix payés aux producteurs au Pays basque sont en stagnation à des niveaux relativement bas.

→ Les perspectives locales dépendent principalement de la compréhension de la diminution des collectes à terre et en mer, en particulier en projetant des études sur les conditions environnementales et sur les effets d'Ostreopsis spp. récemment apparue sur la côte basque, sur la croissance et la qualité du Gelidium. Si les conditions de poursuite des activités de récolte sont réunies, des possibilités d'investissement dans des laveuses ou un séchoir sont à étudier dans un premier temps.

Conclusions et Perspectives : Ce travail constitue pour la première fois en 2022 un état des lieux de la situation qualitative (biochimie, jaunissement, hauteur des pieds...) et quantitative (% de recouvrement, utilisation du drone) de la ressource en Gelidium sur la côte basque rocheuse française. Face à la diminution de la collecte à terre et en mer par la profession, certains points méritent d'être surveillés car identifiés comme susceptibles de contribuer à cette diminution dans les années à venir :

- l'évolution du jaunissement des rameaux, comme un indicateur de stress en lien avec les caractéristiques des eaux ;

- l'évolution du recouvrement algal en raison des diminutions de canopée signalée au pays basque espagnol ;

- l'impact du développement du mucus sur le thalle du Gelidium sur sa qualité, elle demeure méconnue à ce jour car observée mais non étudiée.

La mise en place d'un observatoire local des conditions environnementales permettrait de mieux comprendre les mécanismes qui agissent sur l'état de santé de champs de Gelidium car les connaissances sur ces paramètres restent insuffisantes à ce jour : parmi eux, l'évolution de la température des eaux dans la zone principale de colonisation du Gelidium, les niveaux d'adjugace et les disponibilités en nutriments. La répartition spatiale homogène des champs de Gelidium à l'échelle de la côte basque rocheuse ne permet pas de déterminer un potentiel effet de la houle sur leur développement.

Pour en savoir plus, le rapport complet est disponible sur : <https://sr.chi.mer.ifo.mer.fr/>

de Casa Major (de) MNL, Sanchez F., Lopez de M., Marmion L., Coll Millu N., Soulier L., Fernandez S., Adrien A., Guillaume E., Lallané Y., Antaïan E., Perrère Bumebe M., 2023. Gelidium 64. Caractérisation de s champs de Gelidium à l'échelle de la côte basque en 2022. R. ODE/LITTORAL/LER AR/23.019. 70 p.

Ce projet a été réalisé dans le cadre de l'AMI les 64 fantastiques. Les auteurs remercient le Conseil Départemental des Pyrénées-Atlantiques ainsi que la région Nouvelle-Aquitaine qui ont soutenu financièrement ce projet.

