

CENTRE D'ÉTUDE
& DE VALORISATION
DES ALGUES

ALGAE TECHNOLOGY
& INNOVATION
CENTRE

PROGRAMME P1

Actions d'expertise scientifique, d'information
et de conseil technologique en faveur des
programmes de maîtrise des marées vertes de
Bretagne

PERIODE 2020-2021

Avril 2021

Sylvain BALLU : Chef de Projet (CEVA)

Anthony LE BRIS : Ingénieur de Projet (CEVA)

Marine LASBLEIZ : Chef de Projet (CEVA)

Sophie RICHIER : Responsable de Pôle « Ecologie & Environnement »



CEVA



SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
1. Contexte et objectifs	1
2. Contenu de la mission et réalisations	2
2.1. Information générale sur les marées vertes, leurs causes et les moyens de lutte	3
2.2. Appui aux collectivités : marées vertes et moyens de lutte.....	3
2.3. Participation aux différents cycles de réunions régionales sur l'eau et autres réunions	4
2.4. Analyse des données de suivis de la marée verte et des paramètres climatiques correspondant.....	4
2.5. Veille thématique internationale	18
2.5.1. Contexte et objectif.....	18
2.5.2. Matériel et méthodes.....	19
2.5.2.1. Veille documentaire	19
2.5.2.2. Gestion et analyse de la base de données	19
2.5.3. Résultats	19
2.5.3.1. Effets généraux de l'eutrophisation côtière sur les équilibres biologiques	19
2.5.3.2. Description des Proliférations macroalgales.....	20
2.5.3.2.1. Télédétection.....	20
2.5.3.2.2. Descriptions locales du phénomène des marées vertes.....	25
2.5.3.2.3. Descriptions locales d'autres proliférations macroalgales.....	28
2.5.3.3. Impacts des proliférations.....	30
2.5.3.3.1. Sur les organismes et les populations sauvages.....	30
2.5.3.3.2. Sur le milieu abiotique.....	30
2.5.3.3.3. Sur les activités humaines	32
2.5.3.4. Facteurs contribuant au développement des marées vertes	32
2.5.3.4.1. Facteurs anthropiques.....	32
2.5.3.4.2. Facteurs environnementaux abiotiques.....	33
2.5.3.5. Facteurs biologiques.....	35
2.5.3.5.1. Métabolismes	35



2.5.3.5.2.	Reproduction et cycles biologiques.....	36
2.5.3.5.3.	Compétitions et interactions biologiques	36
2.5.3.6.	Facteurs limitants le développement des marées vertes	38
2.5.3.6.1.	Facteurs environnementaux abiotiques.....	38
2.5.3.6.2.	Facteurs biologiques.....	38
2.5.3.6.3.	Gestion des marées vertes et actions anthropiques.....	39
2.5.3.7.	Valorisation des algues vertes.....	39
2.5.3.7.1.	Alimentation humaine.....	40
2.5.3.7.2.	Agriculture, Aquaculture et Agroalimentaire	40
2.5.3.7.3.	Cosmétiques/pharmaceutiques	40
2.5.3.7.4.	Energie / Bio-charbon.....	40
2.5.3.7.5.	Bio-indicateur	41
2.5.3.7.6.	Bioremédiation	41
2.5.3.7.7.	Valorisation d'autres macroalgues que les algues vertes	41
2.5.3.8.	Caractérisation des algues vertes.....	42
2.5.3.8.1.	Génétique et Biomoléculaire.....	42
2.5.3.8.2.	Composition	42
2.5.3.8.3.	Cycles de vie	42
3.	Conclusion – perspectives	44
ANNEXES.....		46
Bibliographie.....		47



TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

- Figure 1 : Flux moyens mensuels à l'exutoire des bassins versants concernés par les principales proliférations (moyenne des flux mensuels des 7 cours d'eau alimentant les sites du programme « Prolittoral 2002-2006 » + les trois cours d'eau du fond de baie de Saint Briec : Gouessant, Urne, Gouet + l'Horn + le Guillec). Seules certaines années ont été sélectionnées sur ces graphiques, ainsi que les moyennes pluriannuelles 2002-2019 et 2010-2019 (flux des années les plus récentes dont le niveau moyen est moins élevé). La Figure 1a présente les flux sur l'ensemble de l'année tandis que la Figure 1b présente les flux sur la période la plus sensible. 5
- Figure 2 : Ecart de flux mensuel, annuel et saisonnier aux exutoires des BV AV par rapport aux années antérieures (moyenne des sommes mensuelles pour tous les BV). Sur l'ensemble de la période annuelle le flux est de 41 % supérieur à la moyenne 2010-2019 (excédents très élevés en novembre et décembre) ; sur la période sensible « mai-août » le flux est proche de la moyenne 2010-2019 (- 4 % ; mai étant le plus déficitaire avec -13 % et juin le plus fortement excédentaire avec + 11 %). Ces valeurs régionales sont cependant assez variables selon les territoires. 6
- Figure 3 : Evaluation des flux d'azote inorganique de chaque BV estimés sur l'année en moyenne 2002-2020 (Figure 3a) pour la partie du BV suivie (point exutoire du cours d'eau ; ce qui peut être assez différent du flux total du BV dans le cas où plusieurs cours d'eau drainent les BV mais qui permet de visualiser la part de chaque cours d'eau au flux total régional moyen sur 2002-2020 de 3 900 T décrit en Figures 1 et 2). La Figure 3b présente le flux total d'azote inorganique de chaque BV sur la période mai-août uniquement (somme des apports journaliers sur mai-août). Cela permet de mettre en évidence la contribution forte de l'Horn+Guillec (étiages soutenus et flux spécifiques annuels forts) surtout si on analyse la période estivale. Le flux total en moyenne 2002-2020 sur « mai-août » est estimé à 680 T. 6
- Figure 4 : Flux annuel spécifique moyen (2002-2020) d'azote inorganique de chaque BV (pour la partie du BV suivie ; point exutoire du cours d'eau, idem aux Figures 3 a et b). On perçoit des flux spécifiques (par ha de BV ou par ha de SAU) particulièrement importants sur l'Horn+Guillec et sur les cours d'eau de l'ouest Bretagne de manière plus générale. On estime en particulier un flux par ha total de BV de 70 kg pour l'Horn/Guillec contre 18 sur le BV de la Fresnaye (19 sur la baie de Saint Briec et sur le Yar). L'importance de ces flux est en partie conditionnée par l'importance des lames drainantes des BV. 7
- Figure 5 : Ecart, par BV, entre flux d'azote inorganique dissous sur mai-août 2020 et les flux pluriannuels 2010-2019. Les différences observées s'expliquent principalement par les différences locales de pluviosité et les contextes géologiques locaux (+ impact du traitement de l'azote inorganique sur la Step de Saint Briec depuis 2006). Flux du Porzay à consolider (utilisation de données de débit de la station locale qui aurait subi un détarage à compenser après de nouvelles mesures). 9
- Figure 6 : Données MétéoFrance sur les différentes stations, en pluviosité (a) et en ensoleillement (c) ; pas de donnée disponible sur Ploumanac'h. Figure 6 (b) : pluviosité mesurée par MétéoFrance sur la station de Saint Briec. 10
- Figure 7 : Evolutions des concentrations en nitrates sur les cours d'eau suivis (moyennes mensuelles puis annuelles afin d'avoir le même poids pour chaque mois de l'année), sur tous les cours d'eau intégrés au suivi dans le cadre de ce rapport 11
- Figure 8 : Flux d'azote sur la période sensible (moyenne des flux de mai à août sur 8 baies du PLAV) et niveau de surfaces couvertes par les algues vertes en fin de saison (surface en août + septembre sur les plages bretonnes). Les surfaces couvertes par des algues brunes (ou rouges) filamenteuses notamment en 2011, 2012, 2013, 2015 et 2017 en baie de Saint Briec, en 2016 à 2019 sur la baie de Douarnenez et depuis 2006 sur l'est du département des Côtes d'Armor) ne sont pas comptabilisées ici. 12
- Figure 9 : Surfaces couvertes par les ulves en début de saison (avril+mai) et lien avec le niveau de couverture de la fin de l'année n-1. Les niveaux plus faibles qu'attendus en 2006, 2007, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016, 2018 et 2020 s'expliquent par : des températures de l'eau plus froides en hiver/printemps que la moyenne (environ 1 mois de retard sur les températures de l'eau sur avril-mai-juin pour 2006, 2010 et 2013) ; le caractère particulièrement dispersif de l'hiver (pour 2007, 2013, 2015, 2016, 2018, 2020 et



- surtout 2014 : 3 fois plus de jours de houle de plus de 3.5 mètres qu'en moyenne). Le caractère plus précoce qu'attendu en 2017 (cercle vert) s'explique par l'hiver le moins dispersif et parmi les plus lumineux. La position de 2019 (encadré de vert) est liée à une forte précocité en baie de Saint Brieuc et faible précocité sur la plupart des autres sites importants en surface. 13
- Figure 10 : Surfaces couvertes par les ulves en début de saison (avril+mai) et lien avec le niveau de couverture d'octobre de l'année n-1. Les niveaux plus faibles qu'attendus en 2006, 2007, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 et 2018 s'expliquent par : des températures de l'eau plus froides que la moyenne (environ 1 mois de retard sur les températures de l'eau sur avril-mai-juin pour 2006, 2010 et 2013) en hiver/printemps; le caractère particulièrement dispersif de l'hiver (pour 2007, 2013, 2015, 2016, 2018 et surtout 2014 : 3 fois plus de jours de houle de plus de 3.5 mètres qu'en moyenne). Le caractère plus précoce qu'attendu en 2017 s'explique par un hiver des moins dispersifset parmi les plus lumineux. 14
- Figure 11 (a), (b), (c) et (d) : caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle GFS /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs mais seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et mars 2020 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff : du fait du Covid-19, aucune sortie en mer n'a pu être réalisée depuis le 4 mars...); (d) pourcentage d'écart en nombre d'heures d'ensoleillement sur les stations MétéoFrance littorales suivies pour ce bulletin. 15
- Figure 12 : ensoleillement sur l'hiver 2020-2021 au 1^{er} mars sur les stations Météo-France 16
- Figure 13 : données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et septembre 2020 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff (valeur de février : uniquement le 5) 16
- Figure 14 (a) et (b) : (a) houle du modèle WW3 à 100 km /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à février ; (b) mêmes données mais seuillées au dessus de 3.5 m. 17
- 18
- Figure 15 : estimation des biomasses en ulves sur la baie de Saint Michel en Grève utilisée comme « baie de référence » régionale pour la précocité. 18
- Figure 16. Distribution spatiale du risque à partir de l'indice CEI entre 1980 et 2016 dans la mer de Bohai. Les couleurs bleu, verte, jaune, orange et rouge représentent les gradients croissants du risque et les étoiles * représentent les occurrences des HAB. 20
- Figure 17. Illustration des indices FAI (a), VB-FAH (Virtual Baseline Floating algae height) (b) et RGB-FAI (c). 21
- Figure 18. Images hyperspectrales de la surface de l'eau du 17/12/2018, 22/03/2019 et 20/07/2019 (à gauche). Distribution spatiale des concentrations en chlorophylle-a estimées (à droite). 22
- Figure 19. Distribution spatiale et temporelle de la marée verte et de son aire d'influence globale (délimitée en rouge) dans la mer Jaune en 2015. 23
- Figure 20. Comparaison des mesures de réflectance des algues brunes (a), vertes (b) et rouges (c). 24
- Figure 21. (a) Image Pléiades du 10/06/2019 montrant la nappe claire en Nouvelle Ecosse. (b) Photographie in situ des méduses. (c) Exemple d'un bloom de méduses en Nouvelle-Guinée. 25
- Figure 22. Issue de Zhang, Haibo, Su, Rongguo et al.(2020) : carte illustrant deux zones géographiques associées à des phases de développement d'algues vertes distinctes en mer Jaune (DA : Zone de développement, AA : Zone d'accumulation) et graphiques représentant l'apport en nutriments azotés et phosphorés utilisé par les ulves pour leur développement dans chacune des deux zones identifiées. 26
- Figure 23. Issue de Miao et al. (2020) -Abondance et composition spécifique des algues vertes « dérivantes » et des micropropagules dans la région de Subei Shoal. Les lignes en pointillés indiquent la distribution des radeaux d'aquaculture de Pyropia. 27
- Figure 24. Photographie des quatre morphotypes de *S. horneri* observés en mer Jaune et mer de Chine dans le cadre de l'étude de Zhuang et al. (2021) 29
- Figure 25. Issue de Chen, Jing et al. (2020) – Photographie des marées vertes en mer Jaune (à gauche) et graphique représentant les concentrations en COD, et l'abondance en bactéries au cours de la dégradation d'*U. prolifera* (à droite). 31
- Figure 26. Schéma issu de Zhao et al. (2011) représentant les différentes sources d'apports en nutriments dans la zone côtière de Subei Shoal. 33
- Figure 27. Issue de Wang, Junjie et al. (2020) représentant la distribution verticale de la température (à gauche) dans la zone Sud-Ouest de la mer de Chine, et l'évolution des flux de nutriments (DIN : azote inorganique



dissous ; SiO ₃ -Si : Silicates ; PO ₄ -P : phosphates) générés par l'upwelling au cours de la saison selon les 5 dates (à droite).	34
Figure 28. Issue de Huo et al. (2021) – Graphiques représentant le pourcentage de germination des parthénogamètes d' <i>U. prolifera</i> en réponse à différentes conditions de température (A) et d'intensité lumineuse (B), et photographie des parthénogamètes d' <i>U. prolifera</i> obtenue au microscope.	36
Figure 29. Schéma tiré de Hao, Qu et al. (2020) représentant la possible contribution des algues vertes <i>U. prolifera</i> fixées sur les radeaux de culture à la formation des marées vertes, en lien avec les caractéristiques physiologiques particulières de cette espèce en comparaison à celles de <i>Blidingia</i> sp.	37
Figure 30. Schéma tiré de Yang, Xue et al. (2020) représentant la distribution verticale d' <i>Ulva prolifera</i> et de trois micro-algues dans la région de Subei Shoal.	39

Tables

Tableau 1. Synthèse des six études ayant séquencé le génome cytoplasmique d' <i>Ulva</i> sp. en 2020.....	43
---	----



INTRODUCTION

Le CEVA conduit depuis 2008, en maîtrise d'ouvrage, pour les partenaires de l'ex GP5 (CRB, AELB, 4 Conseils départementaux), un programme en faveur de la reconquête de la qualité des masses d'eaux littorales dégradées par les phénomènes de marées vertes. La poursuite de ce programme est proposée pour 2020 sur une période de 12 mois (15 mars 2020 au 15 mars 2021).

L'action de reconquête de la qualité de l'Eau est aujourd'hui particulièrement engagée en application de la Directive Cadre sur l'Eau. Elle implique les collectivités bretonnes, l'Agence de l'Eau et l'Etat, structures qui sont sollicitées comme partenaires financiers de ce programme. Afin de limiter les moyens financiers à mobiliser notamment par le CEVA, certaines actions, portées jusque-là par le CEVA ont été retirées en 2017 du programme CIMAV, en particulier le programme de suivi complémentaire des proliférations (portage depuis 2017 par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne). Les deux projets de l'année 2020 proposés par la cellule d'intervention sur les marées vertes (Cimav) du CEVA, sont listés ci-dessous.

- **Projet 1** : Actions d'expertise scientifique, d'information et de conseil technologique en faveur des programmes de maîtrise des marées vertes de Bretagne.
- **Projet 2** : Amélioration de la modélisation écologique des proliférations macroalgales. Ce projet n'est pas développé cette année.
- **Projet 3** : Compléments d'études sur les processus biologiques, hydrologiques et sédimentologiques impliqués dans les proliférations macroalgales.
- **Projet 4** : Suivi des proliférations d'algues vertes sur le littoral breton en complément du contrôle de surveillance DCE.

Ce projet n'est pas en maîtrise d'ouvrage du CEVA cette année mais porté par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne ; les données issues de ce suivi sont cependant exploitées, pour la partie bretonne, dans le cadre du présent rapport.

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Depuis 2002, début du programme Prolittoral, le CEVA s'est vu confier par les collectivités bretonnes et l'Agence de l'Eau Loire Bretagne, une mission d'animation / coordination du programme Prolittoral. Cette mission intégrait les grandes lignes suivantes :

- information sur le phénomène des marées vertes et les moyens de lutte préventifs et curatifs,
- coordination du réseau des porteurs de programme de bassin versant Prolittoral,
- animation du « club des financeurs » de Prolittoral et notamment du comité de pilotage de ce programme,
- veille thématique internationale sur les marées vertes,
- enquête auprès des communes bretonnes sur les échouages et ramassages d'algues vertes.

Le nouveau contexte créé par la DCE et la réorganisation des politiques de l'eau au niveau régional (« grand projet 5 » du CPER) a conduit en 2008 à modifier la forme et réduire le périmètre de cette mission (notamment au niveau de l'animation des programmes BV).



Le phénomène de marée verte demeurant une préoccupation régionale majeure, une action adaptée d'expertise scientifique, d'information et de conseil technologique restait nécessaire pour accompagner et soutenir les projets de reconquête de la qualité des masses d'eau côtières touchées par des phénomènes de marées vertes. Aussi, un nouveau projet « Actions d'expertise scientifique, d'information et de conseil technologique en faveur des programmes de maîtrise des marées vertes de Bretagne » a été mis en œuvre en 2008.

Suite à l'accident survenu en juillet 2009 à Saint Michel en Grève, une commission d'enquête interministérielle a été mise en place, en vue d'élaborer un « plan d'urgence algues vertes ». Très fortement médiatisé, l'évènement a imposé une réorientation du projet 2009, en cours d'année, pour mieux se mettre à la disposition des différentes commissions mises en place, pour répondre aux sollicitations des médias et des collectivités, notamment concernant le ramassage accru des algues et leur traitement. Ce surcroît de demande, associé à une diminution du nombre de jour dédié à cette mission de soutien en 2009, a mis en évidence un besoin croissant d'intervention du CEVA pour la communication d'informations.

Aussi, les programmes 2010 à 2013, comportaient une prévision globale d'intervention revue à la hausse avec notamment un renforcement de la communication scientifique à destination principalement des acteurs impliqués dans le Plan Gouvernemental Algues Vertes.

La réalisation du programme 2013 en dessous du prévisionnel, en partie du fait du manque de disponibilité du CEVA, a incité à la définition de programmes pour les années 2014 à 2019 revus à la baisse, autour d'actions dans la lignée des années précédente.

Pour l'année 2020, la proposition faite était de rester sur un niveau d'intervention comparable à ce qui était proposé depuis 2014, et qui permet de répondre, dans les grandes lignes, aux sollicitations des collectivités ainsi qu'aux acteurs impliqués dans la lutte contre les proliférations d'algues vertes. Comme cela avait été le cas les trois années précédentes, le programme 2020 incluait un survol « d'avant saison » ainsi qu'une estimation des stocks résiduels (actions antérieurement intégrées dans les suivis des biomasses du programme Cimav P4), dont l'objectif est d'affiner les prévisions de la précocité du démarrage de la prolifération.

2. CONTENU DE LA MISSION ET REALISATIONS

La mission du CEVA dans ce programme CIMAV P1 suppose une grande disponibilité pour répondre, par mail ou téléphone aux interrogations, souvent « urgentes », des différents acteurs impliqués dans la lutte contre les proliférations et plus particulièrement des collectivités territoriales (communes, syndicats intercommunaux ou communautés de communes, SAGEs, Conseils départementaux, Conseil régional, services de l'Etat,...). Cette action passe cependant aussi par des moments plus formels, sous forme d'interventions dans des réunions, ou de fournitures d'éléments de diagnostic local, de bulletins sur l'évolution des marées vertes, de synthèse sur les flux et la mise en relation de ceux-ci avec la marée verte observée. En 2020, en plus de ces actions, le CEVA a réalisé une évaluation des stocks de reconduction d'ulves pour consolider la perception de la précocité attendue des proliférations. L'Annexe 1 reprend les principales interventions « formelles » du CEVA. Sur la période mars 2020 à mars 2021, ces interventions répertoriées représentent plus de 110 interventions.



2.1. Information générale sur les marées vertes, leurs causes et les moyens de lutte

En 2020 les demandes ont été très nombreuses de la part des médias. Notamment du fait de nombreuses questions sur la précocité relevée par les associations sur les proliférations des vasières en Sud Bretagne. La presse a été aussi demandeuse d'éléments de bilan des actions des PLAV. Enfin l'OEB et les associations mais aussi les Chambre d'agriculture ont été également demandeuses d'informations. Certaines sollicitations étaient liées à des travaux d'étudiant sur le sujet. Le nombre de sollicitations sur cette rubrique « information » s'élève à plus de 40.

Par ailleurs, un grand nombre de demandes, plus ponctuelles, font l'objet d'échanges (mel, téléphone,...) qui ne peuvent être reportées exhaustivement dans la liste proposée en annexe. Cette action d'information objective, sur le phénomène, son évolution et ses causes/moyens de lutte, semble encore primordiale, compte tenu de la situation perturbée et très médiatisée depuis 2009, et de l'importance de la connaissance de la situation réelle et des leviers d'actions à disposition (préventif N ou P, niveau à atteindre et actions pertinentes, curatif, ...) par les acteurs mais aussi le public. Les anomalies dans les proliférations, avec certains sites touchés par d'autres algues que les ulves à certaines périodes, ou la prolifération très retardée sur certains secteurs en 2014 ou 2018, très précoce en 2017 et particulièrement massive et précoce sur la Baie de Saint Briec en 2019 mais tardive ailleurs doivent donc pouvoir être expliquées et partagées en lien avec les mécanismes sous-jacents aux proliférations. Le retard très important, en 2020, sur la Côtes nord tandis que les vasières du sud étaient précocement touchées a également dû être expliqué à de nombreuses reprises (pas un déplacement des proliférations mais des conjonctions climatiques assez claires).

Les interventions principales sont reportées en Annexe 1.

2.2. Appui aux collectivités : marées vertes et moyens de lutte

Afin de fournir des informations actualisées aux structures en charge de la problématique algues vertes, le CEVA, après chacun des 7 survols annuels (DCE surveillance et RCO) a réalisé une synthèse des observations effectuées. Cette synthèse s'appuie sur une première analyse visuelle des clichés (comparaison pour les sites en « suivi renforcé » du niveau de surface avec les 10 années antérieures ou pré digitalisation « rapide » sur les baies principales) afin d'estimer, avant la phase de digitalisation des dépôts, un niveau approximatif des couvertures en ulves. Ce travail est chronophage mais permet une mise à disposition rapide des informations mensuelles ; l'information « stabilisée », plusieurs semaines ou mois plus tard étant jugée moins utile pour la gestion en partie « à chaud » par les collectivités. Ces bulletins d'information sont destinés aux « initiés », de par leur rédaction rapide (rédaction sans trop de « tournures de précaution »). Ces 7 bulletins mensuels ont été complétés par un bulletin de synthèse annuelle + perspectives de précocité de la saison suivante (bilan 2019 le 30 janvier 2020 consolidé le 4 mars puis bilan 2020 le 01/02/2021 consolidé le 02/03/2021).

Outre l'édition de bulletins d'information sur l'évolution de la prolifération, l'action d'appui aux collectivités a représenté plus de 50 interventions formelles en 2020. Ce volet est d'autant plus lourd en temps, que bon nombre des interventions nécessitent une phase de préparation en amont (diagnostic local de la situation des territoires / problématiques de marées vertes) avec pour certaines même des visites de terrain pour analyser la situation locale, participation à des restitutions sous forme de note de synthèse ou de présentation orale. Les demandes en 2020 ont concerné les SAGE et d'autres structure en lien avec la situation sur les vasières du Morbihan (précocité et médiatisation) mais aussi



des comités thématiques algues vertes créés dans le cadre du plan gouvernemental, le groupe permanent de scientifiques en appui au PLAV et, dans une moindre mesure, des structures de bassin versant et des collectivités bretonnes (Syndicats mixtes, communes, communautés de communes, départements, région). La mise en place de l'évaluation environnementale conduite par la Cour des Comptes sur la politique environnementale « Algues vertes » a demandé plusieurs rencontres et de nombreux échanges de données en cours d'année. Cette action a représenté en 2020 plus de 50 réunions formelles.

L'Annexe 1 présente le détail des interventions répertoriées.

2.3. Participation aux différents cycles de réunions régionales sur l'eau et autres réunions

Cette « rubrique » compte en 2020 environ 25 réunions. Les principales interventions sont reportées en Annexe 1. Le CEVA est intervenu à de nombreuses reprises sur la thématique du ramassage innovant (Efinor, MERL Consulting, « Defrenne Underwater », Arvorig) la valorisation des algues ou du H₂S (H2X/SDE22) mais aussi sur les problématiques de pollutions H₂S (appui de la Direccte pour la mise à jour du guide des pratiques de ramassage) ou en appui à des montages de thèse ou autre projets de recherche sur les Ulves.

A noter que les moyens humains limités pour répondre aux demandes ont parfois impliqué, comme l'année précédente, des réponses succinctes ou différées dans le temps. Il semble néanmoins, en bilan annuel, que l'absence du CEVA sur certaines rencontres ou les réponses parfois rapides n'a pas freiné la mise en place d'actions de lutte contre les marées vertes.

2.4. Analyse des données de suivis de la marée verte et des paramètres climatiques correspondant

Afin de pouvoir alimenter les parties décrites ci-dessus de soutien aux collectivités dans la lutte contre les marées vertes, le CEVA se doit de collecter puis d'analyser les paramètres qui interviennent dans les proliférations, en particulier les données de flux d'azote, mais aussi les autres caractéristiques du milieu (houle, température de l'eau, notamment pour décrire la dispersion hivernale mais aussi éventuellement printanière et estivale). Depuis 2011, les principaux cours d'eau parvenant aux différentes baies du Plan de lutte contre les algues vertes font l'objet d'évaluation de flux (au moins un cours d'eau par baie de sorte à avoir la « tendance nutritionnelle locale » de l'année par rapport aux années antérieures et moyennes).

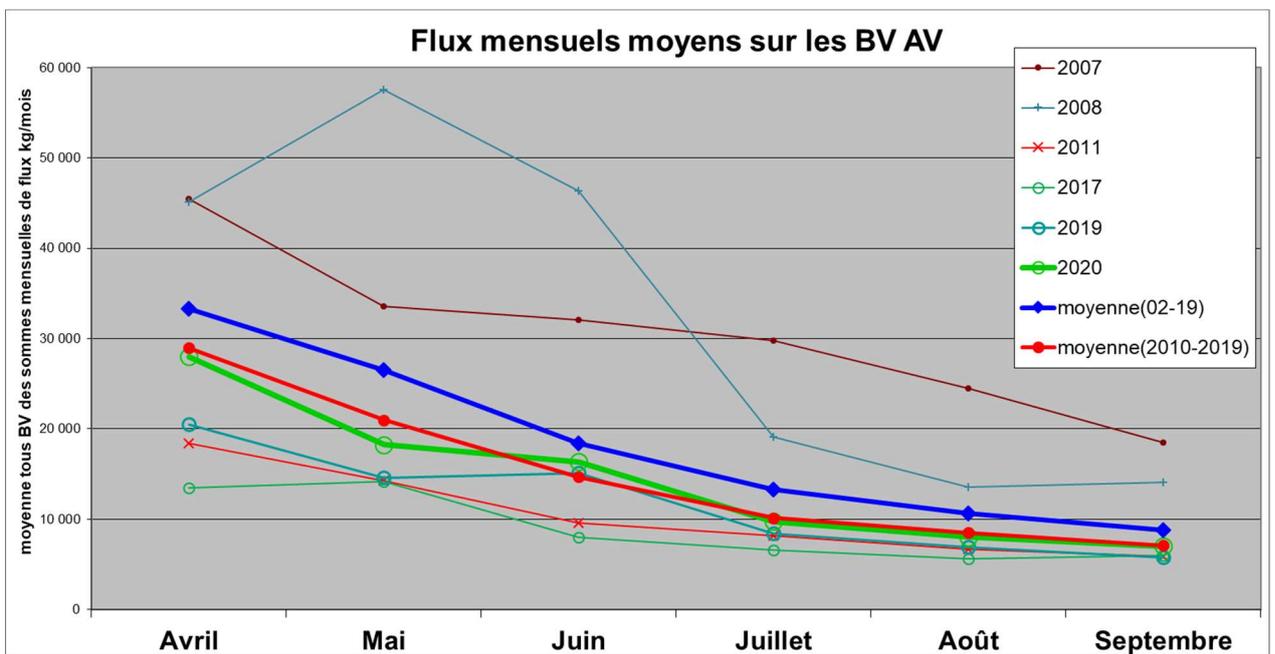
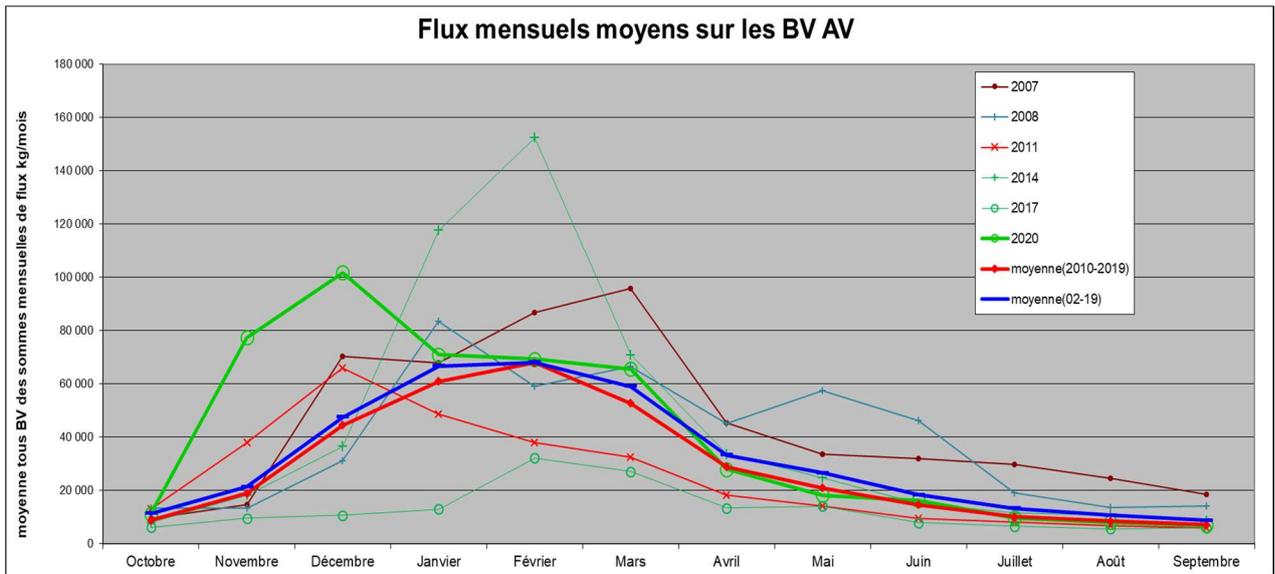


Figure 1 : Flux moyens mensuels à l'exutoire des bassins versants concernés par les principales proliférations (moyenne des flux mensuels des 7 cours d'eau alimentant les sites du programme « Prolittoral 2002-2006 » + les trois cours d'eau du fond de baie de Saint Briec : Gouessant, Urne, Gouet + l'Horn + le Guillec). Seules certaines années ont été sélectionnées sur ces graphiques, ainsi que les moyennes pluriannuelles 2002-2019 et 2010-2019 (flux des années les plus récentes dont le niveau moyen est moins élevé). La Figure 1a présente les flux sur l'ensemble de l'année tandis que la Figure 1b présente les flux sur la période la plus sensible.

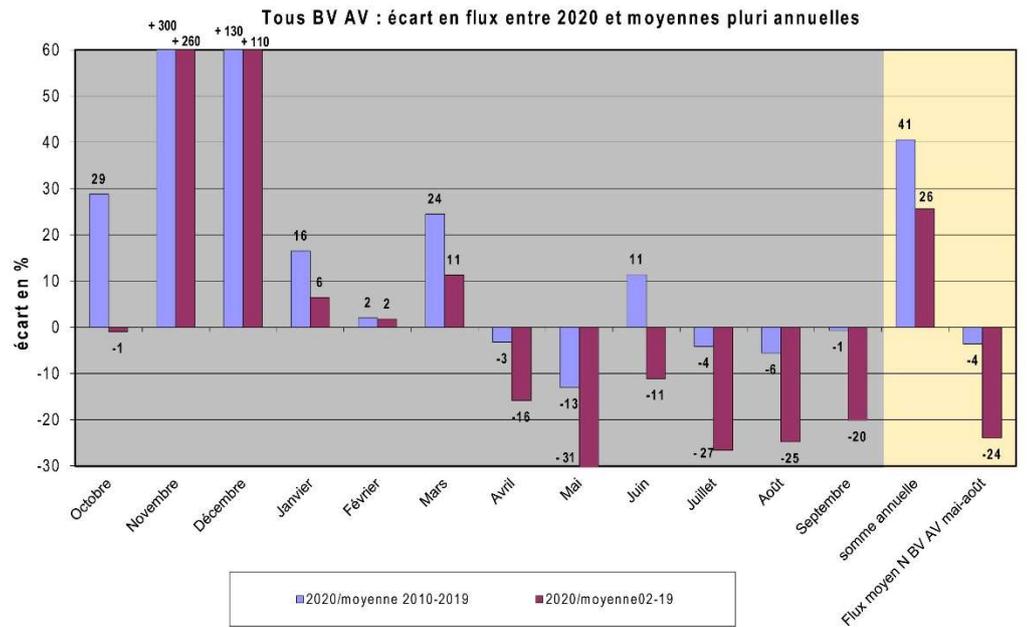


Figure 2 : Ecart de flux mensuel, annuel et saisonnier aux exutoires des BV AV par rapport aux années antérieures (moyenne des sommes mensuelles pour tous les BV). Sur l'ensemble de la période annuelle le flux est de 41 % supérieur à la moyenne 2010-2019 (excédents très élevés en novembre et décembre) ; sur la période sensible « mai-août » le flux est proche de la moyenne 2010-2019 (- 4 % ; mai étant le plus déficitaire avec -13 % et juin le plus fortement excédentaire avec + 11 %). Ces valeurs régionales sont cependant assez variables selon les territoires.

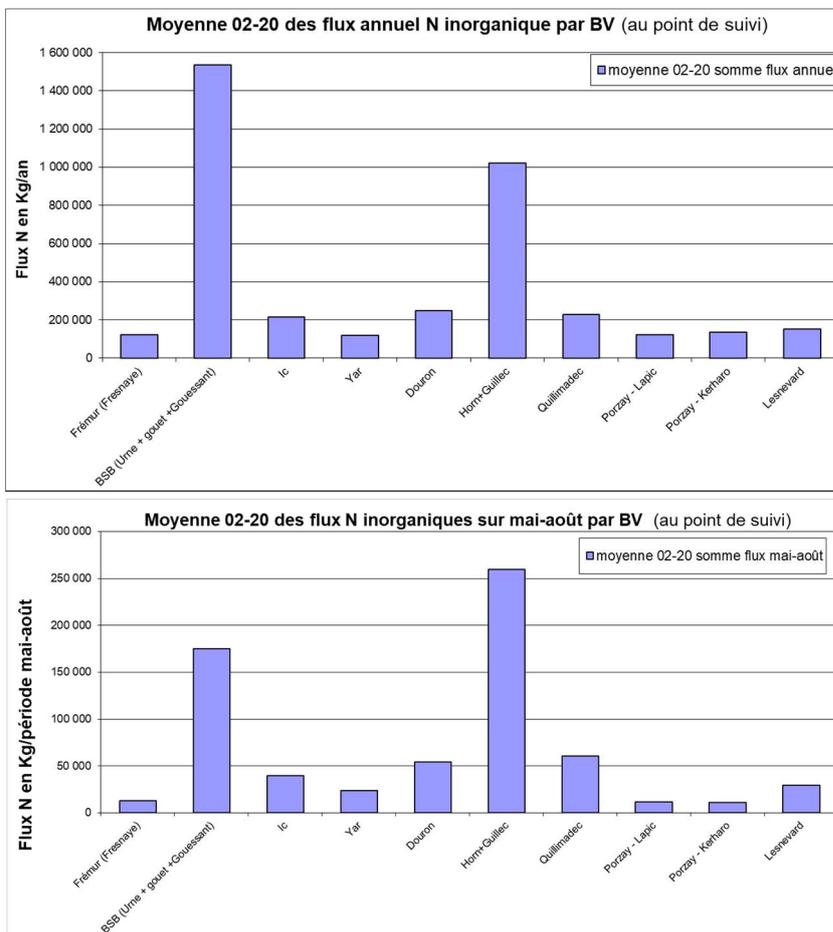


Figure 3 : Evaluation des flux d'azote inorganique de chaque BV estimés sur l'année en moyenne 2002-2020 (Figure 3a) pour la partie du BV suivie (point exutoire du cours d'eau ; ce qui peut être assez différent du flux total du BV dans le cas où plusieurs cours d'eau drainent les BV mais qui permet de visualiser la part de chaque cours d'eau au flux total régional moyen sur 2002-2020 de 3 900 T décrit en Figures 1 et 2). La Figure 3b présente le flux total d'azote inorganique de chaque BV sur la période mai-août uniquement (somme des apports journaliers sur mai-août). Cela permet de mettre en évidence la contribution forte de l'Horn+Guillec (étiages soutenus et flux spécifiques annuels forts) surtout si on analyse la période estivale. Le flux total en moyenne 2002-2020 sur « mai-août » est estimé à 680 T.

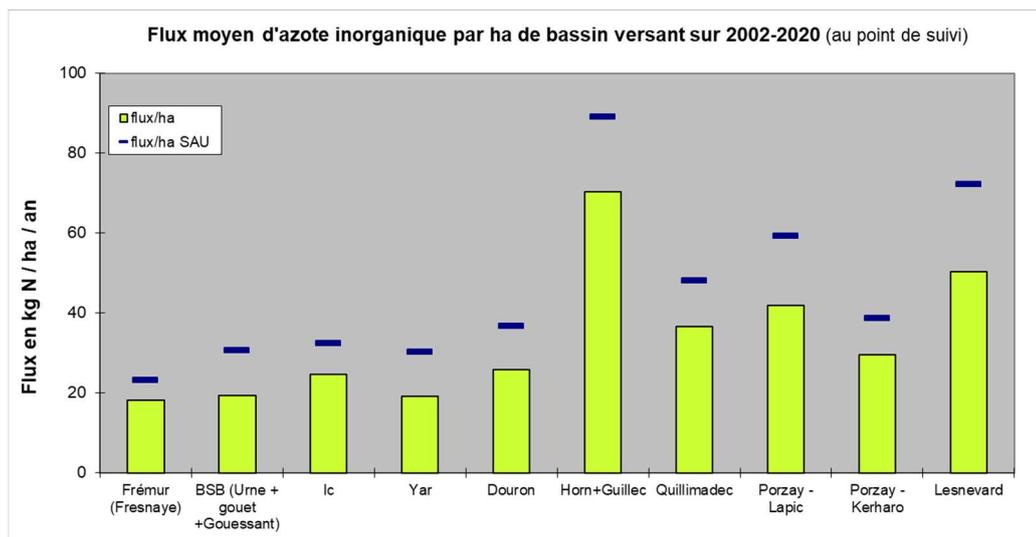


Figure 4 : Flux annuel spécifique moyen (2002-2020) d'azote inorganique de chaque BV (pour la partie du BV suivie ; point exutoire du cours d'eau, idem aux Figures 3 a et b). On perçoit des flux spécifiques (par ha de BV ou par ha de SAU) particulièrement importants sur l'Horn+Guillec et sur les cours d'eau de l'ouest Bretagne de manière plus générale. On estime en particulier un flux par ha total de BV de 70 kg pour l'Horn/Guillec contre 18 sur le BV de la Fresnaye (19 sur la baie de Saint Brieuc et sur le Yar). L'importance de ces flux est en partie conditionnée par l'importance des lames drainantes des BV.

Contrairement au cas de l'année 2019 (défaut de flux), **le flux de l'année hydrologique 2020** (Figure 2) est **nettement excédentaire par rapport à la situation moyenne** (+ 41 % par rapport à 2010-2019 et +25 % par rapport à 2002-2019). Cet excédent annuel est principalement lié aux très forts excédents des mois de novembre et décembre (+ 300 et + 130 % de flux) en lien avec des pluviosités très excédentaires (60 à 125 % de pluie en plus que la normale sur les mois d'octobre et novembre 2019 sur chaque station météo suivie). La très faible pluviométrie à partir du 15 mars entraîne ensuite une forte diminution des flux mensuels qui deviennent déficitaires sur avril et mai puis excédentaires en juin et « moyens » ensuite. **Sur la « période la plus sensible » aux proliférations, les niveaux sont proches des moyennes interannuelles** : le flux mai-août est de 4 % inférieur au niveau moyen 2010-2019 (24 % inférieur par rapport à 2002-2019). Malgré ce niveau sur la période mai-août, il convient de bien noter **des disparités fortes** avec une situation de déficit marqué en mai (- 13 % sur le « niveau régional ») alors qu'en juin le flux moyen est excédentaire de 11 %. Cela est lié à une pluviométrie qui a d'abord été très faible (15 mars-10 juin) puis **très soutenue du 9 au 18 juin** (environ le double du niveau total mensuel attendu sur seulement 9 jours). De plus, ce niveau moyen régional est en réalité assez disparate sur cette période avec des flux sur juin qui ont été très élevés sur l'est des Côtes d'Armor (+ 172 % sur la baie de la Fresnaye, + 15 % sur la baie de Saint Brieuc dont 30 % sur le Gouessant), relativement élevés sur le centre et l'ouest des Côtes d'Armor (+ 26 % Binic et 36 % Yar) mais « moyens » voire modérés sur le nord Finistère (-2 % sur le Douron, -11 % sur le Quillimadec, autour de - 20 % sur la baie de Douarnenez et le Lesnevard ; mais + 11 % pour l'Horn et le Guillec qui font figure d'exception). La Figure 6 (b) montre que ces situations d'orages violents entraînant des excès pluviométriques très forts se **retrouvent tous les ans depuis 2016 en juin ou parfois fin mai**. Les 5 dernières années auront donc présenté **des profils « très défavorables » avec des pluies très soutenues en juin**, période durant laquelle les ulves sont **potentiellement limitées par l'azote et donc sensibles** à ces apports excédentaires (refertilisation importante à une période clé). D'après les spécialistes de météo France, cette situation relève du « hasard » et n'est pas une tendance liée au changement global.

Les mois suivants, les apports sont restés soutenus sur la baie de Saint Brieuc (+7 et + 29 % respectivement en juillet et août) comme sur la baie de Saint Michel en Grève (respectivement + 11 et +8 % sur le Yar) alors



que sur la plupart des autres cours d'eau les niveaux de flux sont redevenus « moyens » voire bas (- 7 et - 28 % sur la Fresnaye par exemple).

Ce niveau « moyen régional » mai-août résulte donc de situations locales **très différentes** (Figure 5) : ces différences de comportement en flux sont en premier lieu à **mettre en relation avec les différences de pluviosité** sur les différents secteurs avec notamment des **pluies d'orages, en juin**, qui ont été intenses sur la baie de Saint Briec (également, mais dans une moindre mesure, sur le reste de la Bretagne). Sur la station Météo France de Saint Briec on enregistrait 116 mm de pluie sur le mois de **juin** (dont 106 mm du 10 au 18 juin soit 2.4 fois la pluie mensuelle normale) **soit plus du double (2.6 X +) de la pluviosité « normale » mensuelle**. Sur Dinard, la situation est encore plus excédentaire avec 132 mm sur juin (soit 160 % de + que la normale) alors que les stations plus à l'ouest présentent des excédents de 80 à 105 %. La nature géologique des bassins versants intervient également dans la réaction des flux à ces pluviosités (réaction plus rapide sur les BV schisteux et plus tamponnée sur les BV granitiques). Et enfin, l'évolution des teneurs moyennes en nutriments ces dernières années jouent également sur les séries de référence de flux (en particulier sur 2002-2019).

La distribution de ces flux au cours de la saison est, elle aussi, variable selon les bassins versants comme le présente l'Annexe 2 en lien avec des pluviosités et contextes pédogéologiques différents. Sur les bassins versant des Côtes d'Armor les flux augmentent fortement entre mai et juin (X 2.5 sur la Fresnaye) alors qu'en moyenne pluriannuelle ils diminuent (environ - 30 %). Les calculs de flux (en partie extrapolés) de l'ensemble des cours d'eau de la baie de Saint Briec ne conduisent pas à une augmentation brute entre mai et juin mais à une stabilité qui est due au Gouet dont les débits ne montent pas beaucoup (effet très probablement de la gestion du barrage de Ploufragan). Les flux arrivant en baie de Saint Briec et calculés sur juin sont cependant supérieurs au niveau moyen 2010-2019 (+ 15 % alors qu'ils étaient 18 % inférieurs en avril). Sur les cours d'eau finistériens, malgré les pluies soutenues de juin, les flux sont en diminution par rapport à mai et proche ou inférieur au niveau moyen (sauf Horn+Guillec 10 % supérieur).

Les situations nutritionnelles sont donc différentes selon les secteurs avec toutefois des flux qui étaient **bas en tout début de saison** (avril et mai inférieur aux moyennes mais période a priori toujours au-dessus des limitations nutritionnelles) **et un niveau qui devient élevé en juin sur les baies des Côtes d'Armor** (baie de la Fresnaye tout particulièrement) à la faveur **d'orages intenses**. Alors que les flux restent « moyens » ou inférieurs à la moyenne sur l'ouest. En juillet puis août, on note des flux soutenus sur le Yar et la Baie de Saint Briec quand les autres secteurs présentent des flux déficitaires.

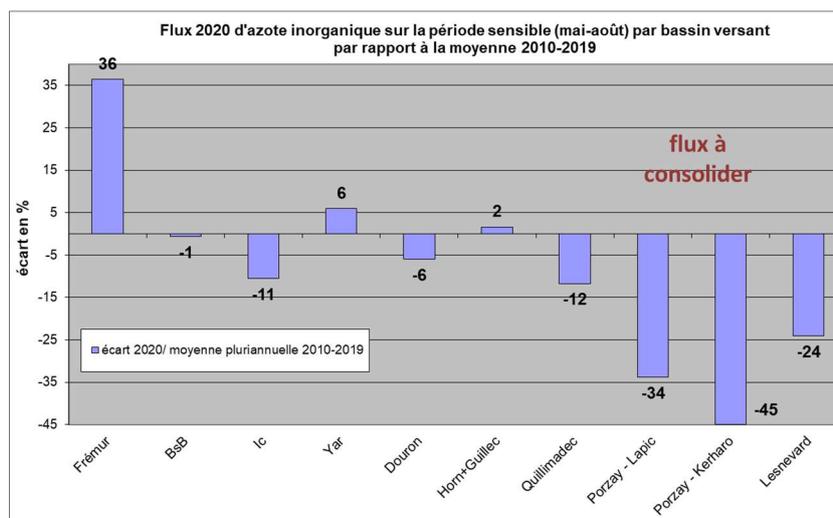
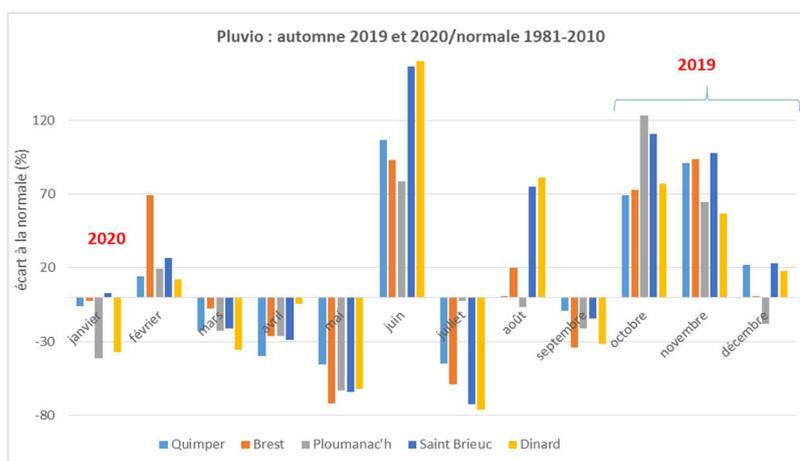


Figure 5 : Ecart, par BV, entre flux d'azote inorganique dissous sur mai-août 2020 et les flux pluriannuels 2010-2019. Les différences observées s'expliquent principalement par les différences locales de pluviosité et les contextes géologiques locaux (+ impact du traitement de l'azote inorganique sur la Step de Saint Briec depuis 2006). Flux du Porzay à consolider (utilisation de données de débit de la station locale qui aurait subi un détarage à compenser après de nouvelles mesures).

La Figure 6 (a) présente la pluviosité sur 2019/2020 par rapport aux normales (1981-2010). Logiquement les niveaux de pluviosité jouent directement sur les écoulements et flux présentés plus haut. Les **déficits de pluie de janvier à mai** (sauf ponctuellement pour janvier sur Dinard et de -13.5 % à -30 % sur le cumul janvier-mai suivant les stations) impliquent des débits qui sont **devenus très faibles au printemps** (flux de - 60 % à - 30 % inférieurs aux moyennes sur janvier à mai). Les pluies intenses en juin (en particulier sur la station de Saint Briec avec un excédent de + 120 % par rapport à la normale : 102 mm de pluie au lieu de 45 mm, en grande partie entre le 5 et le 12 juin) engendrent **des reprises d'écoulement et des flux** qui remontent partout et surtout sur les cours d'eau de la baie de Saint Briec (70 % de flux en plus sur juin 2020 qu'en moyenne 2010-2019). En juillet, les pluies sont fortement déficitaires alors qu'en août et septembre, les valeurs sont plus proches des normales (excédentaires à l'ouest et proche des normales voire déficitaire sur l'est). En octobre puis novembre, les pluies sont nettement excédentaires (près du double de la normale). La Figure 6 (b) permet de percevoir un **ensoleillement fortement excédentaire** de janvier à mai (de 15 % à 30 % sur le cumul des heures de janvier à mai, suivant les stations météorologiques). L'ensoleillement est également fortement excédentaire en juillet (comme ce fut le cas l'année précédente), proche des normales en juin, août et septembre et nettement déficitaire sur octobre novembre.



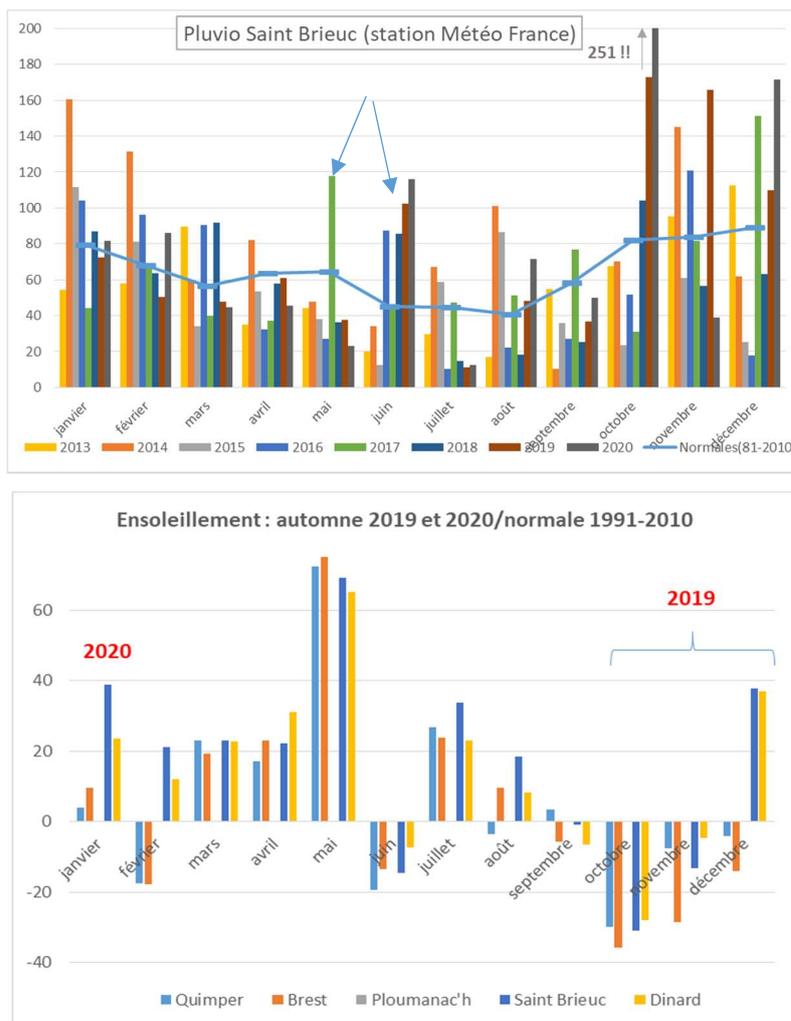


Figure 6 : Données MétéoFrance sur les différente stations, en pluviosité (a) et en ensoleillement (c) ; pas de donnée disponible sur Ploumanac'h). Figure 6 (b) : pluviosité mesurée par MétéoFrance sur la station de Saint Brieuc.

Le flux est également lié **aux concentrations** (nitrates et ammonium), même si ces dernières évoluent, à court terme, dans des intervalles beaucoup plus étroits que les débits des cours d'eau. En 2020 (année hydrologique) **les concentrations en nitrates** sont, sur la majorité des cours d'eau **en hausse sensible par rapport à 2019** (Figure 7) qui était une année qui avait montré une diminution marquée par rapport à 2018. Six des 13 cours d'eau suivis (Frémur, Ic, Douron, Gouet, Urne, Gouessant) présentent des hausses de concentration sensibles par rapport à l'année 2019 mais pour une part restent à un niveau inférieur à l'année 2018. Ces hausses sont très probablement liées à l'importance des débits à l'automne hiver 2019-2020. Trois cours d'eau (Yar, Kerharo et Lapic) sont « stables » ou en très légère augmentation par rapport à 2019. Et 4 cours d'eau présentent de légères diminutions (Quillimadec, Lesnevard, Horn et Guillec). Les débits inférieurs aux moyennes sur l'année hydrologique 2018-2019 expliquent probablement, en partie, la baisse plus importante des concentrations sur la plupart des cours d'eau (en particulier les cours d'eau schisteux dont les concentrations baissent davantage lors des étiages les plus sévères) et les débits supérieurs sur 2019-2020 expliquent en partie les hausses mesurées. Si l'on calcule la « moyenne brute » de tous les cours d'eau (ce qui n'a pas grande signification sans pondération par les débits déversés mais permet de donner une tendance « régionale », en gardant tous les ans le même panel de cours d'eau) on aurait une augmentation entre 2019 et 2020 de 4.5 % (29.6 mg/l en 2019 et 31 en 2020 alors que nous étions à 32 en 2018) après la diminution de 5.5 % entre 2018 et 2019. Outre l'évolution des concentrations en nitrates sur les différents cours d'eau, il convient de noter, pour la baie de



Saint Briec, le fort abattement depuis 2006 des fournitures en ammonium (NH₄) par la Step de la ville de Saint Briec (induisant une diminution de près de 500 kg/jours des flux d'azote ce qui est considérable, surtout dans le cas d'année sèche).

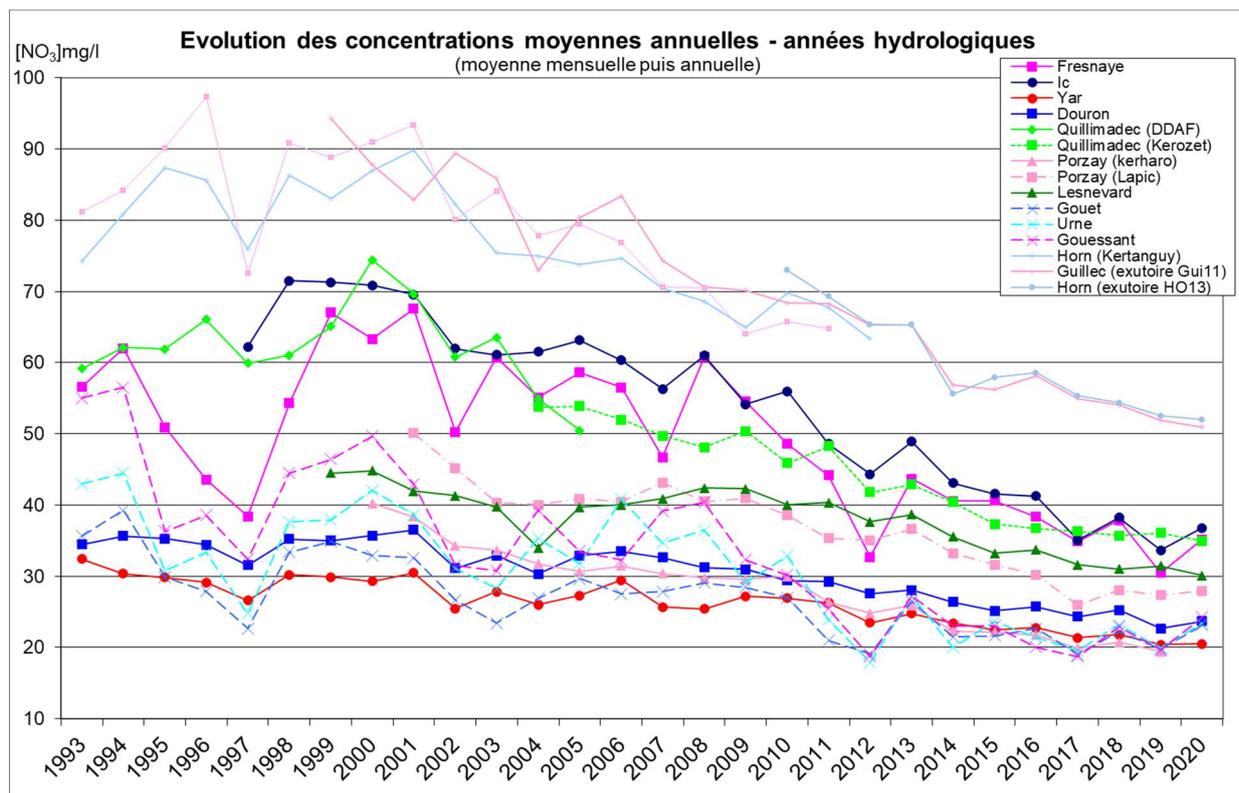


Figure 7 : Evolutions des concentrations en nitrates sur les cours d'eau suivis (moyennes mensuelles puis annuelles afin d'avoir le même poids pour chaque mois de l'année), sur tous les cours d'eau intégrés au suivi dans le cadre de ce rapport

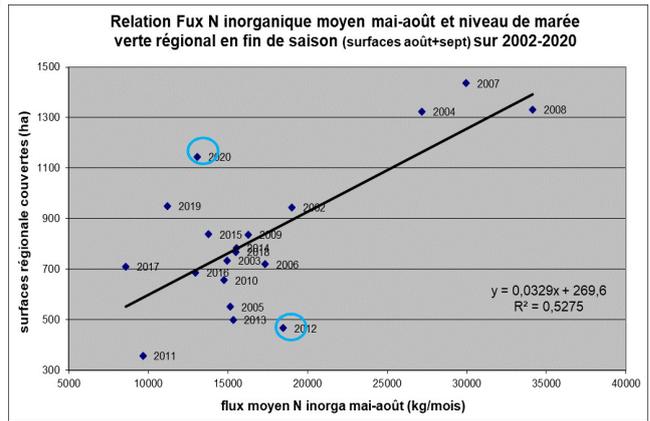
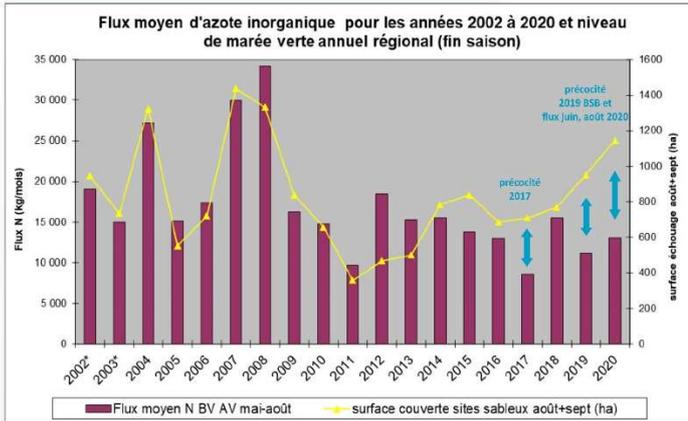
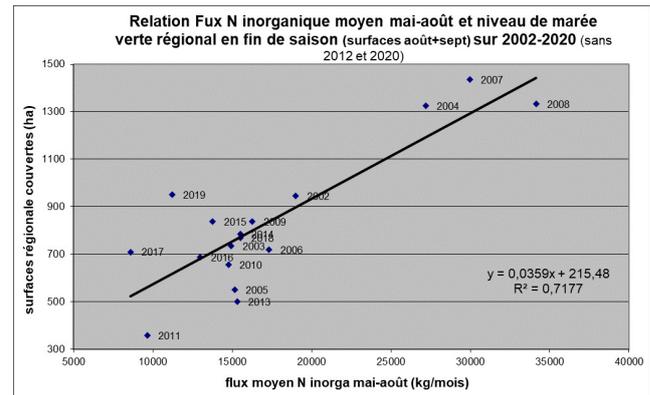


Figure 8 : Flux d'azote sur la période sensible (moyenne des flux de mai à août sur 8 baies du PLAV) et niveau de surfaces couvertes par les algues vertes en fin de saison (surface en août + septembre sur les plages bretonnes). Les surfaces couvertes par des algues brunes (ou rouges) filamenteuses notamment en 2011, 2012, 2013, 2015 et 2017 en baie de Saint Brieuc, en 2016 à 2019 sur la baie de Douarnenez et depuis 2006 sur l'est du département des Côtes d'Armor) ne sont pas comptabilisées ici.



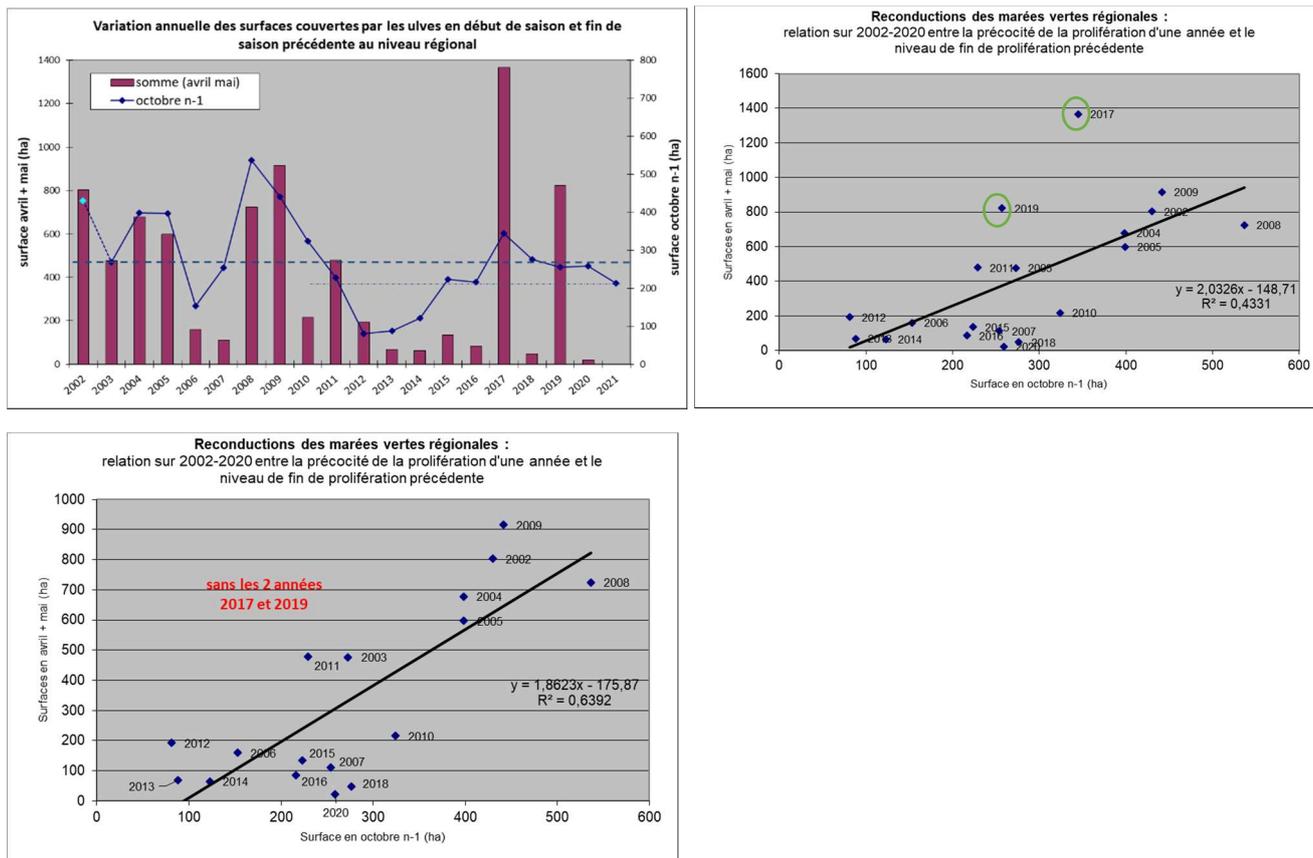


Figure 9 : Surfaces couvertes par les ulves en début de saison (avril+mai) et lien avec le niveau de couverture de la fin de l'année n-1. Les niveaux plus faibles qu'attendus en 2006, 2007, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016, 2018 et 2020 s'expliquent par : des températures de l'eau plus froides en hiver/printemps que la moyenne (environ 1 mois de retard sur les températures de l'eau sur avril-mai-juin pour 2006, 2010 et 2013) ; le caractère particulièrement dispersif de l'hiver (pour 2007, 2013, 2015, 2016, 2018, 2020 et surtout 2014 : 3 fois plus de jours de houle de plus de 3.5 mètres qu'en moyenne). Le caractère plus précoce qu'attendu en 2017 (cercle vert) s'explique par l'hiver le moins dispersif et parmi les plus lumineux. La position de 2019 (encerclé de vert) est liée à une forte précocité en baie de Saint Briec et faible précocité sur la plupart des autres sites importants en surface.

Le niveau de la fin 2001 a été estimé en se basant sur les suivis qui ne portaient, à cette époque, que sur le littoral des Côtes d'Armor (suivis réalisés par le CEVA sur financement du Conseil Général des Côtes d'Armor). La méthode d'estimation était différente : pour rendre compatibles les méthodes, c'est le ratio de la mesure de mi-octobre 2001 sur le maximum annuel de 2001 qui a été utilisé.

Si l'analyse « régionale » proposées en Figure 8 et Figure 9 permet de voir « les grandes lignes » des paramètres explicatifs de la précocité des proliférations puis du maintien du phénomène en saison estivale à un niveau important, il est clair que l'analyse plus fine doit être réalisée par baie. En effet, les comportements des bassins versants comme la pluviosité (surtout orages estivaux) conduisent à des niveaux relatifs des apports qui peuvent être très différents. De plus, le poids en surface ainsi que la plus ou moins forte saturation des sites vis-à-vis des flux d'azote implique alors, suivant les baies, des réactions aux flux annuels différents (par ex. l'Horn + Guillec représentent en moyenne 40 % du « flux analysé » sur mai-août mais la prolifération locale, très peu liée au flux représente 5 % de la surface régionale août + septembre). Il en est de même pour ce qui est de la reconduction hivernale avec des sites qui sont beaucoup plus sensibles à la dispersion du fait de leur exposition à la houle (la baie de Saint Briec, vaste baie concentrant en moyenne 52 % des surfaces d'octobre est largement moins exposée à la houle et montre certaines années de fortes reconductions que l'on ne retrouve pas sur les autres sites plus exposés).



✓ Concernant la **précocité de démarrage 2020**, le 27 avril 2020, les éléments ci-dessous étaient proposés :

- Les **quantités présentes en fin 2019** étaient identiques à celles de 2018 et **proches de la moyenne 2002-2017 (-5%)** mais sensiblement supérieures au niveau moyen des dernières années 2010-2018 (+ 30%). Les **surfaces étaient surtout importantes en baie de Saint Briec (85 % de la surface totale régionale)**.

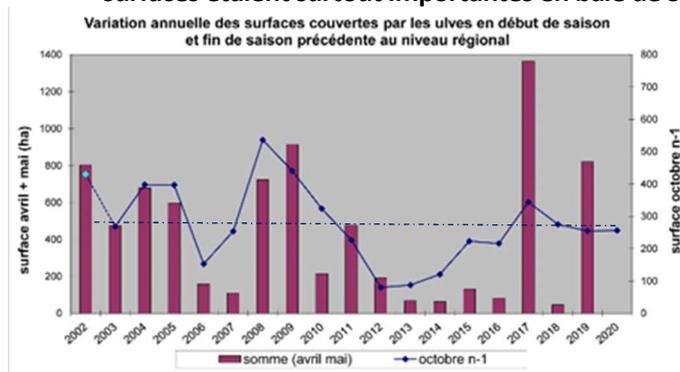


Figure 10 : Surfaces couvertes par les ulves en début de saison (avril+mai) et lien avec le niveau de couverture d'octobre de l'année n-1. Les niveaux plus faibles qu'attendus en 2006, 2007, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 et 2018 s'expliquent par : des températures de l'eau plus froides que la moyenne (environ 1 mois de retard sur les températures de l'eau sur avril-mai-juin pour 2006, 2010 et 2013) en hiver/printemps; le caractère particulièrement dispersif de l'hiver (pour 2007, 2013, 2015, 2016, 2018 et surtout 2014 : 3 fois plus de jours de houle de plus de 3.5 mètres qu'en moyenne). Le caractère plus précoce qu'attendu en 2017 s'explique par un hiver des moins dispersifset parmi les plus lumineux.

- **La température de l'eau, plutôt inférieure** à la normale jusqu'en fin décembre (en moyenne de décembre du réseau SOMLIT à Astan – 60 m de fond : - 0.3 °C) devenant légèrement supérieure sur janvier et février (+ 0.5°C). En mars une seule valeur est disponible (le 4 mars puis plus de prélèvement jusqu'en mai du fait du Covid-19) et il est difficile de la confronter à la moyenne de mars. La température serait donc « neutre » quant à la précocité de l'année 2020 (pas un facteur expliquant un caractère tardif à l'année).
- **L'hiver (novembre à mars) est nettement dispersif : + 35 % de jour de houle** au-dessus de 2.5 m et même **+ 80 % pour ce qui est des épisodes les plus intenses** (houle de +4.5 m ; 40 % si on considère les jours de houle de + de 3.5 m). Sur novembre à mars, l'hiver 2019-2020 est **donc parmi les plus dispersifs**. Au **troisième rang**, nettement derrière 2013-2014 et avant ou après 2015-2016 et 2006-2007, suivant les critères considérés (perception probablement sous-estimée pour 2019-2020 par changement de méthode d'archivage et d'analyse).
- **L'ensoleillement a été déficitaire** sur octobre, novembre, décembre sur la Bretagne (sauf Dinard et Saint-Briec excédentaire en décembre) et globalement **déficitaire sur novembre-février** pour l'ouest Bretagne (80 et 86 % de la normale) mais **légèrement excédentaire sur l'est** (de 12 % sur St Briec et 4 % sur Dinard). En mars, et surtout du fait de la deuxième quinzaine, l'ensoleillement est, sur toutes les stations, excédentaire. Ce qui est encore le cas sur la première quinzaine d'avril.

Les paramètres environnementaux (houle, lumière) étaient donc **défavorables à une reconduction des stocks et en premier lieu le caractère dispersif de l'hiver**. Ces paramètres permettaient de prévoir, sur les baies sableuses une prolifération 2020 retardée. La baie de Saint Briec, partant de stocks importants (octobre 2019) aurait été la plus susceptible de repartir précocement mais l'hiver nettement dispersif sur cette baie et l'expérience des années antérieures ayant présenté des hivers aussi dispersifs (2015-2016 ; 2013-2014 et 2006-2007) nous permettait d'y prévoir une prolifération retardée.

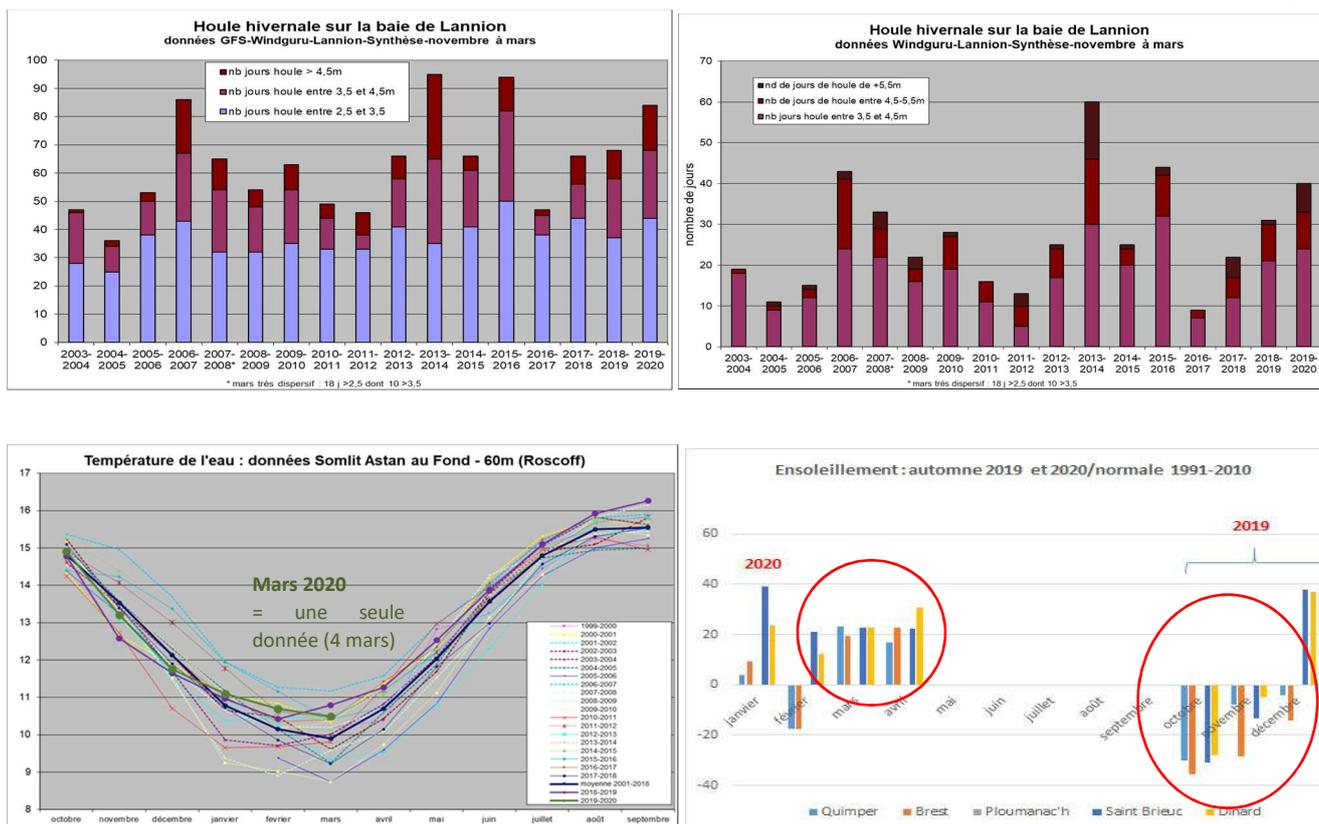


Figure 11 (a), (b), (c) et (d) : caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle GFS /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs mais seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et mars 2020 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff : du fait du Covid-19, aucune sortie en mer n'a pu être réalisée depuis le 4 mars...); (d) pourcentage d'écart en nombre d'heures d'ensoleillement sur les stations MétéoFrance littorales suivies pour ce bulletin.

✓ Concernant la **précocité de démarrage 2021**, le 3 mars 2021, les premiers éléments ci-dessous étaient proposés :

Pour ce qui est de la prévision du **démarrage de la prolifération 2021**, la plus grande partie des épisodes dispersifs devrait être passé (statistiquement nov-février représente 86 % des jours de houle de plus de 2.5m). Et les tendances actuelles devraient donc permettre de donner une indication relativement solide :

- Les quantités présentes en fin 2020 sont inférieures aux 4 années précédentes et environ 20 % inférieures à la moyenne 2002-2019. De plus une partie des surfaces d'octobre se trouve sur des sites sur lesquels la reconduction n'est pas liée aux stocks (Binic, Dossen, Guissény). Donc sur ce paramètre la configuration 2020 est plutôt favorable.
- La température de l'eau serait proche de la situation « moyenne », plutôt élevées (dernière valeur SOMLIT disponible le 5 février, mais ensuite température semble « stable » d'après les données satellitaires),
- L'hiver (manque encore la situation de mars) relativement peu dispersif. Les jours de houle utilisés pour qualifier la dispersion (modèle NWW3 à 100km) donnent : un niveau proche de la moyenne pour les jours de houle de + de 2.5 m (+ 4 %) ; mais très inférieur sur les épisodes les plus dispersifs (- 65 % pour le nombre de jours de houle supérieur à 4.5 m et - 13 % pour les jours de houle de + de 3.5 m). Ce paramètre est donc plutôt favorable à un démarrage précoce, pour les sites difficilement déstockables (grande taille et peu exposés) et favorable à un démarrage retardé pour les sites facilement « dispersés » (petite taille, exposés à des houles puissantes).



- L'ensoleillement a été, sur toutes les stations météo suivies (manque l'info de Quimper pour février), **proche du niveau moyen sur octobre à février**, mais **supérieur à la normale pour l'est des Côtes d'Armor** (+ 16 % sur nov-fév sur Saint Briec, notamment du fait de l'excédent de février : **+ 30 % sur Saint Briec et + 25 % sur Dinard** mais – 1 % sur Brest). La pluviométrie, en revanche est très supérieure sur la même période (de +30 % à + 50 % suivant les stations, malgré un mois de février déficitaire partout).

Malgré des **conditions de stocks à l'entrée de l'automne** qui étaient plutôt favorables pour un démarrage retardé, les **caractéristiques de novembre à février en terme de dispersion** sont, à l'opposé, **plutôt favorables à un démarrage précoce** au moins pour **les grand sites, les moins exposés à la houle**. Cette situation semble pouvoir engendrer des situations différentes suivant les sites : **exposition plus ou moins importante à la houle, taille et niveau de stock de l'année précédente**. La houle assez « moyenne » sur les niveaux de + 2.5 m (+ 4 %) pourrait être suffisante pour une faible reconduction sur les sites les moins vastes et les plus exposés. En revanche, l'absence d'épisode de houle vraiment intense (- 65 % sur les jours de + de 4.5 m) **pourrait permettre une reconduction importante sur les sites vastes et plus abrités**, en premier lieu sur la **baie de Saint Briec et baies de l'Est des Côtes d'Armor**. Il convient de noter que le mois de mars (et même début avril) peut encore jouer un rôle primordial dans la reconduction : **le mois de mars représente en moyenne 15 % des jours de plus de 2.5 m** de la période novembre-mars. De plus à cette période, **l'ensoleillement et la température de l'eau** sont potentiellement limitant, **donc un mois de mars calme et ensoleillé** (comme en cette fin février/début mars) **pourrait engendrer une croissance importante des algues sur les sites qui en présentent déjà** quand un mois de **mars sombre et agité pourrait contenir le redémarrage** des proliférations.

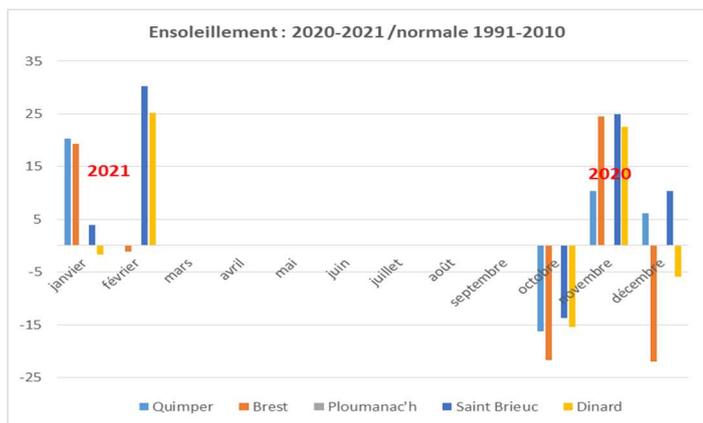


Figure 12 : ensoleillement sur l'hiver 2020-2021 au 1^{er} mars sur les stations Météo-France

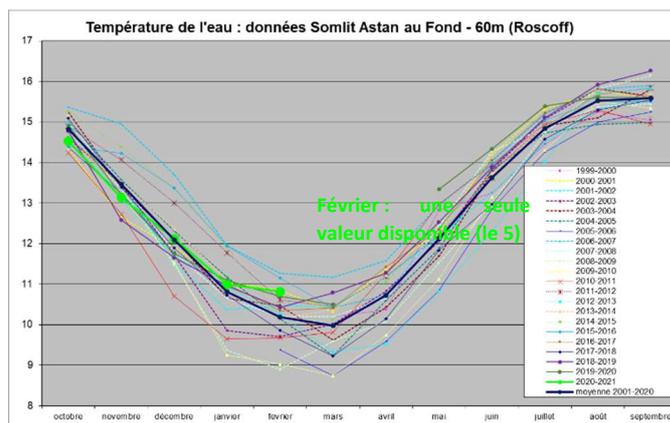


Figure 13 : données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et septembre 2020 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff (valeur de février : uniquement le 5)

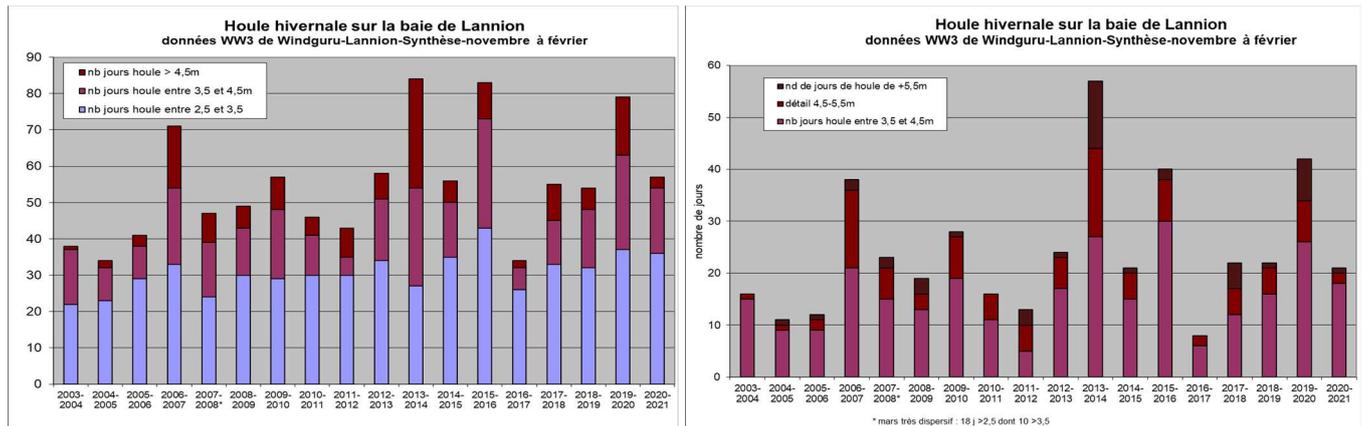


Figure 14 (a) et (b) : (a) houle du modèle WW3 à 100 km /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à février ; (b) mêmes données mais seuillées au dessus de 3.5 m.

✓ **Premiers éléments de perception de la reconduction 2020 – 2021** (point réalisé le 2 mars, suite au survol)

Aucune estimation surfacique n'est prévue durant l'hiver (novembre-avril). Une image satellitaire (Sentinel) du 9 janvier semblait montrer des stocks (limités) encore présents en baie de Saint Briec (mais résolution un peu grossière et hauteur d'eau ne découvrant que le haut de l'estran). Cela est corroboré par des retours des collectivités qui mentionnent la présence de petits échouages jusqu'en haut de plage certains jours. Le 29 janvier une image Sentinel de la baie de Saint Briec semble encore attester de la présence d'un rideau d'ulves (mais prudence/ résolution et niveau de marée). Des images, le même jour de la baie de Saint Michel en Grève et Douarnenez semblent indiquer l'absence d'ulves dans ces deux baies (mais simple indication... du fait de la résolution et d'un niveau d'eau pas très bas et d'une forte turbidité). Cela semblait cependant préfigurer, suivant les conditions de février et mars **des démarrages différenciés selon les secteurs comme cela était noté ces dernières années**. Un rapide tour de baie de Saint Briec, le 5 février, attestait de la présence « encore/déjà » significative de petits fragments d'ulves en dépôt de bas d'estran et en rideau.

A partir du 25 février **les conditions ont été particulièrement favorables pour l'échouage d'algues éventuellement présentes dans les baies**. Le 1^{er} mars, les conditions de plafond nuageux et d'échouages étaient parfaites, ainsi que le coefficient de marée (106) idéal pour percevoir la présence d'algues dans les baies. **Un survol « rapide » des sites les plus instructifs a été réalisé ce jour**. Il ressort, comme envisagé (plus haut), **une situation très contrastée**.

Aucune **algue verte n'est perçue** sur la baie de la Forêt, de Douarnenez, sur le Moulin Blanc, sur Guissény (échouages probablement de goémon uniquement, mais pas de contrôle de terrain) du Dossen, de Locquirec, de Saint Michel en Grève (malgré un parcours approfondi de la baie le jour du vol, en interaction avec l'observation aérienne, aucune ulve, autre que petites ulves fixées sur les massifs d'hermelles n'a été trouvée), l'anse de Bréhec, de Binic. Sur ces sites, lors du vol, la situation **est donc particulièrement bonne avec, en ce début mars**, très peu ou pas d'ulves présente. Les conditions, actuellement très favorables à la croissance (lumière, peu de dispersion, température de l'eau) **ne devraient pour autant par permettre un démarrage précoce sur ces baies**.

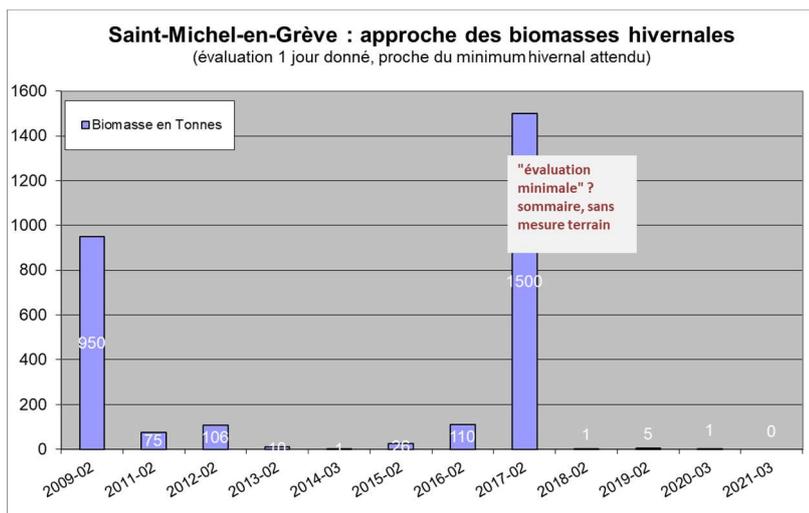


Figure 15 : estimation des biomasses en ulves sur la baie de Saint Michel en Grève utilisée comme « baie de référence » régionale pour la précocité.

Sur la baie de Saint Briec, la situation est tout autre : les stocks de reconduction perçus en survol et sur le terrain, le lendemain sont **très importants** (surtout en bas d'estran et rideau dense), au centre de la baie et également plus haut dans le Légué et en dendrites au nord du port. Ces algues, sur le terrain semblent en **parfait état physiologique** (vert bouteille, de petite taille) et **en pleine croissance**. Il semble, même si c'est délicat de comparer entre elles les années, **que les quantités présentes seraient même supérieures à celles vues en février 2019**, qui avaient conduit à une année extrêmement précoce (comme 2017, ces deux années étant les plus précoces des 20 années de mesure et les surfaces d'avril de l'ordre de 6 fois plus importantes qu'en moyenne 2002-2019). **Sur cette baie**, sauf changement radical et mois de mars qui deviendrait extrêmement tempétueux avec épisodes de houle très intenses, ce qui est très peu probable, il est **donc à craindre un démarrage très précoce**, dès le mois d'avril, contrairement à la situation des autres baies, tardives, comme cela avait été observé en 2019.

Enfin, **les baies de l'est des côtes d'Armor présentent des échouages importants**, mais qui semblent (depuis l'avion) dominés, voire exclusivement constitués d'algues brunes filamenteuses, probablement de type Ectocarpales. Les échouages et rideau en baie de Lancieux sont particulièrement impressionnants.

2.5. Veille thématique internationale

2.5.1. Contexte et objectif

Cette veille thématique permet de suivre l'évolution du phénomène de prolifération des algues opportunistes en dehors de la région Bretagne et de faire le point sur les avancées faites au niveau de la connaissance du phénomène, des moyens de lutte possibles et éventuellement des perspectives envisageables pour éliminer ou valoriser ces algues.

Ce travail poursuit la veille engagée dans le cadre du programme Prolittoral depuis 2002. La veille concerne toutes les études internationales dont les résultats pourraient constituer un apport dans la compréhension des marées vertes bretonnes.



2.5.2. Matériel et méthodes

2.5.2.1. Veille documentaire

La veille documentaire a été réalisée à travers la consultation principalement des bases de données suivantes : Science Direct, Google Scholar et via les moteurs classiques de recherche en ligne.

Les mots clés suivants ont été employés (seul ou en combinaison) pour pouvoir avoir un résultat le plus exhaustif et pertinent possible : «green-tide», «golden tide», «bloom», «prolifération», «macroalgae», «seaweed», «Ulva», «Green algae», «Sargassum», «Solieria», «Asparagopsis», «Gracilaria».

La recherche documentaire a été effectuée sur la période du 1^{er} janvier au 31 décembre 2020 et complétée par le début de l'année 2021. Au total, 116 articles pertinents ont été retenus pour alimenter cette revue bibliographique.

2.5.2.2. Gestion et analyse de la base de données

Toutes les références bibliographiques ont été intégrées dans la base de données interne du CEVA hébergée sous CITAVI, logiciel spécifiquement dédié à l'organisation de la connaissance bibliographique.

2.5.3. Résultats

2.5.3.1. Effets généraux de l'eutrophisation côtière sur les équilibres biologiques

L'eutrophisation, déclenchée par des apports excessifs en nutriments dans les masses d'eau, se traduit par une productivité intense des écosystèmes aquatiques. L'une des principales conséquences est la prolifération des producteurs primaires qui peut engendrer des blooms d'algues nuisibles (HAB : Harmful Algal Bloom) et touche principalement les eaux côtières anthropisées. C'est le cas de la mer de Bohai qui est devenue la masse d'eau la plus eutrophisée de Chine avec la fréquence la plus élevée d'occurrence des HAB. De nombreuses études ont permis de développer des indices écologiques pour évaluer la qualité des masses d'eau, leur état d'eutrophisation et la prévention et le contrôle du risque de ces HAB. Il est cependant difficile d'établir des actions efficaces contre les HAB en raison du manque de lien entre l'évaluation du risque écologique des HAB et les mesures prises. Lin et al. (2020) ont donc travaillé sur le développement d'un indice d'eutrophisation composée (CEI) afin de proposer une méthode d'évaluation du risque des HAB liée aux mesures de prévention et de contrôle des HAB.

La méthode développée est basée sur 5 étapes avec (1) le criblage des éléments d'eutrophisation, (2) la construction de l'indice d'eutrophisation (CEI : Compound eutrophication index), (3) l'évaluation des risques de blooms, (4) des mesures de conception et d'optimisation de la prédiction et du contrôle des HAB et (5) des tests de fiabilité et d'optimisation. Les éléments de l'eutrophisation sont décrits selon 4 origines (zone côtière, émission de polluants terrigènes, transport hydrodynamique et migration biogéochimiques). Des mesures *in situ* ont été réalisées ainsi que l'analyse de données historiques, y compris d'images satellitaires et ont permis de comparer les résultats obtenus depuis 1980. Une bonne corrélation a été trouvée entre le CEI et la concentration en chlorophylle-a ainsi qu'avec l'évaluation du risque des HAB. L'évaluation du risque à partir de l'indice CEI développé a montré des incertitudes plus faibles qu'avec l'utilisation d'autres indices (Figure 16).

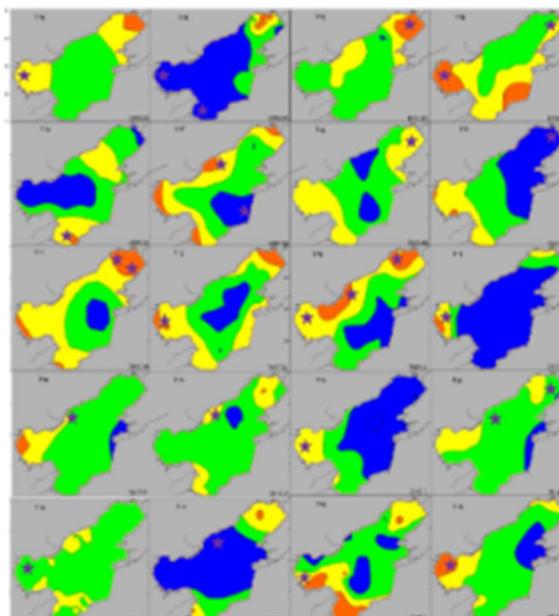


Figure 16. Distribution spatiale du risque à partir de l'indice CEI entre 1980 et 2016 dans la mer de Bohai. Les couleurs bleu, verte, jaune, orange et rouge représentent les gradients croissants du risque et les étoiles * représentent les occurrences des HAB.

Lin et al. (2020) ont pu déterminer que la mer de Bohai, malgré les efforts pour réduire l'apport excessif des nutriments, est en état de haut risque face aux blooms toxiques de phytoplancton (HAB) depuis 1989. Cependant, la prévention et le contrôle des HAB à partir des indices de qualité de nutriment et le statut trophique des estuaires est difficile à optimiser en raison du manque de prélèvements synchronisés avec l'émission de polluants terrigènes ou côtiers. Pour les 51 HAB analysés, 37 ont présenté un risque moyen avec une faible étendue pour une durée de moins de 5 jours, 9 ont présenté un risque élevé avec une durée entre 5 et 12 jours et 5 ont présenté un risque extrême, avec des surfaces importantes et une durée supérieure à 12 jours. Ces blooms à risque extrême se sont présentés lorsque l'eutrophisation a conduit à une concentration en oxygène dissous inférieure à 4.6mg/L. Les résultats ont également montré que l'émission des polluants terrigènes et des « reclamation area » (urbanisation et industrialisation du littoral), contribuent à 91% de l'eutrophisation et les actions menées sur ces activités anthropiques seraient plus efficaces pour la prévention et le contrôle des HAB.

2.5.3.2. Description des Proliférations macroalgales

2.5.3.2.1. Télédétection

La plupart des articles traitant de la télédétection des proliférations algales en 2020 ont été réalisés en Chine, et plus particulièrement en Mer Jaune ou en Mer de Bohai. Ces sites d'études sont confrontés à des marées vertes annuelles depuis plus de 10 ans avec des épisodes plus ou moins importants et durables selon les années (Zhang, Haibo, Wang, Guoshan et al. 2020). Ces phénomènes causent des dégâts environnementaux et économiques, notamment lorsque les algues s'échouent sur les côtes ou dans les zones cultivées en mer (radeaux de culture, filets et cordes de culture de *Porphyra yezoensis*). Ces zones aquacoles peuvent constituer une biomasse importante et pourrait être à l'origine des marées d'algues vertes (Jiang, Gao et Gao 2020).



Parmi toutes ces études, trois ont développé de nouvelles méthodes de détection des proliférations algales à partir de drones. C'est le cas de Jiang, Gao et Gao (2020) qui ont utilisé des images drone en complément des images satellites afin de construire un indice de végétation (RGB-FAI) basé sur les bandes RVB du capteur drone (Figure 17) et comparé à 5 autres indices plus couramment utilisés (EXG, NGBDI, NGRDI, RGBVI, VDI).

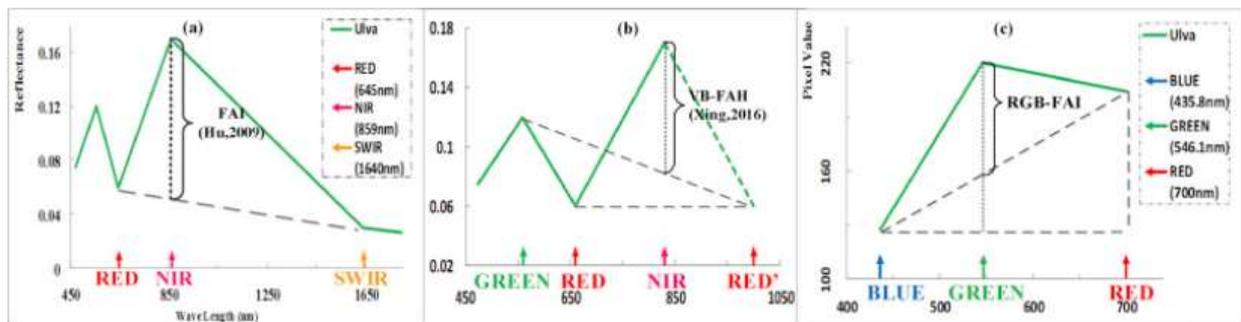


Figure 17. Illustration des indices FAI (a), VB-FAH (Virtual Baseline Floating algae height) (b) et RGB-FAI (c).

Cet nouvel indice a une précision élevée ($\kappa = 0.950$), mais d'autres indices ont montré des résultats similaires. Cet indice a été appliqué aux différentes phases de la dynamique des marées vertes et est particulièrement robuste lors de la phase de déclin, même par temps brumeux (en comparaison des autres indices). Les résultats ont été comparés à des images MODIS qui surestiment de 21 % la surface des algues vertes. D'autre part, l'utilisation des drones permet d'acquérir des images avec des pas de temps inférieurs aux images satellites, ce qui a permis de calculer précisément la vitesse et la direction de dérive des algues (0.26 m/s vers le nord-est) et permet donc de suivre l'évolution des algues et d'aider dans les mesures de prévention.

Gai et al. (2020) ont monté un capteur hyperspectral (400-1000 nm avec une résolution spectrale de 2.1 nm) sur un drone (DJI Matrice 600) afin d'améliorer un modèle de quantification de la chlorophylle a dans les eaux turbides côtières. Ce modèle permet d'améliorer la précision de la quantification de la *Chl A* et a été appliqué à plusieurs acquisitions afin de cartographier les variations des concentrations (Figure 18). Les variations de concentrations sont liées à la matière en suspension de la colonne d'eau, au vent et à la présence d'aquaculture, tandis que les évolutions temporelles sont liées à la température de surface, à la salinité et aux activités humaines.

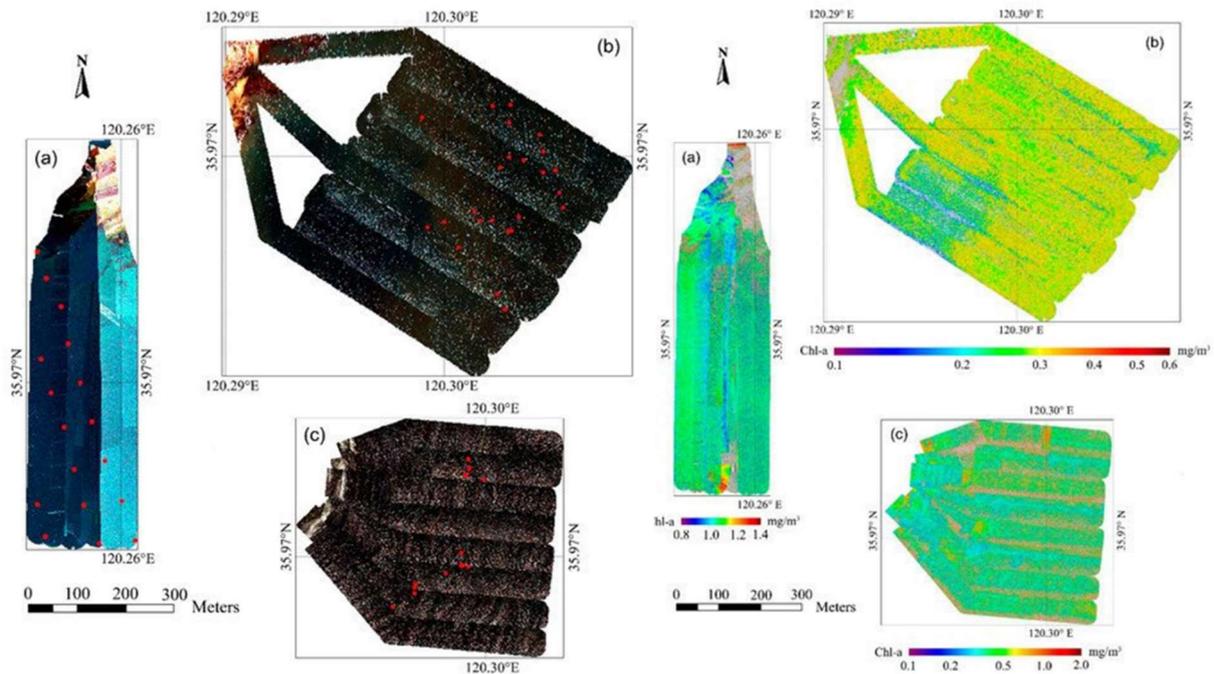


Figure 18. Images hyperspectrales de la surface de l'eau du 17/12/2018, 22/03/2019 et 20/07/2019 (à gauche). Distribution spatiale des concentrations en chlorophylle-a estimées (à droite).

Enfin, Kim et al. (2020) ont utilisé des images RVB drone pour cartographier les marées vertes à la surface à partir de différentes méthodes de classifications (Mahalanobis (MHD), Maximum likelihood (MLH), Minimum distance (MID), Artificial Neural Network (ANN)) sur une zone de 1 km² à 250 m d'altitude pour une résolution spatiale de 4.86 cm. La zone d'étude a été divisée en 4 classes (ulves, sable, eau et ulves immergées). Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les méthodes ANN et MLH, mais pour cette dernière, de nombreux pixels n'ont pas été classés.

Les autres études menées dans la mer de Chine ont employé des images satellitaires, notamment à partir des capteurs (GaoFen) et du satellite géostationnaire GOCI afin d'exploiter la haute résolution spatiale (Super-resolution optical mapping of floating macroalgae from geostationary orbit) ou temporelle (Jiang, Binbin et al. 2020). Ces caractéristiques sont adaptées à l'étude des eaux côtières et offshore dont les paramètres environnementaux peuvent évoluer rapidement et à des échelles réduites (Wei et al. 2020; Wang et Gao 2020).

Cao et Han (2020) ont utilisé ces données avec les indices NDVI et LDMMP (Linear Decomposition Model of Mixed Pixels) pour étudier la distribution des marées vertes et leur dérive en fonction du typhon « Chan-hom » survenu en 2015 qui a déplacé les algues vers les côtes de Lianyungang (Figure 19). L'avantage de GOCI est sa haute résolution temporelle qui permet d'évaluer les dynamiques à l'échelle de l'heure.

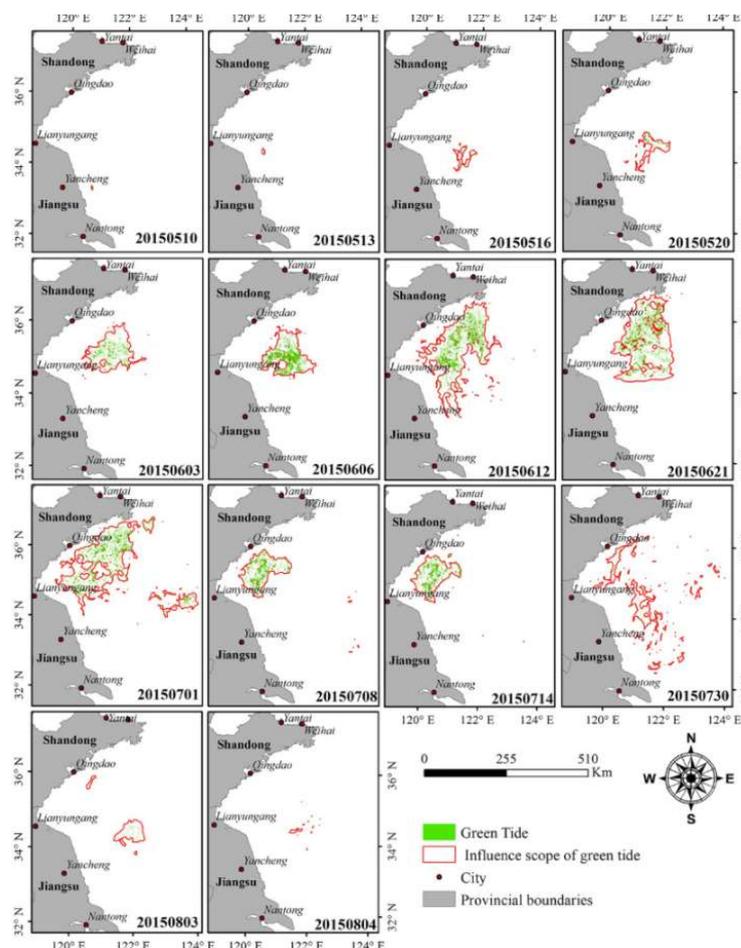


Figure 19. Distribution spatiale et temporelle de la marée verte et de son aire d'influence globale (délimitée en rouge) dans la mer Jaune en 2015.

Ces données font parfois l'objet de comparaisons avec d'autres capteurs tels que Landsat, MODIS, Sentinel (ZHENG et al. 2020) voire avec d'autres types d'imageries telles que les techniques Radar qui peuvent être appliquées quelles que soient les conditions météorologiques (Liang et al. 2020 ; Yu et al. 2020).

D'autres études ont été menées dans des localisations différentes. C'est le cas de Brisset et al. (2021) qui ont réalisé un suivi de la dynamique des proliférations d'algues vertes dans des petits atolls en Nouvelle-Calédonie. L'un des enjeux principaux de cette étude est de réussir à cartographier des petits atolls caractérisés par une variabilité spectrale importante qui dépend de la diversité et de la densité des algues, des substrats sous-jacents et de la profondeur de la colonne d'eau. A partir d'images Sentinel-2, qui proposent une résolution spatiale suffisante et requise pour ce genre d'espaces réduits, deux zones ont été cartographiées en employant deux types de méthodes. Une méthode non supervisée et une supervisée suivant une segmentation des images ainsi que des indices de végétation pour évaluer des biomasses algales. L'utilisation d'un NDVI modifié a donné les meilleurs résultats par rapport aux autres indices testés. La méthode supervisée, bien que nécessitant des pré-traitements complexes qui requièrent des compétences en traitements d'images, donne de meilleurs résultats. Cette étude a permis d'une part d'étudier la dynamique des biomasses d'algues vertes, et d'autres parts de mettre en évidence l'origine de ces marées vertes (prolifération locale et non alimentée par des algues dérivantes) grâce des données terrains. Les auteurs ont proposé un indice de risque afin d'évaluer l'abondance des algues en fonction de leur croissance et d'anticiper les échouages massifs. Ceci dans le but de définir un plan de gestion et de suivi de ces algues et d'identifier les sources potentielles d'intrants nutritifs dans l'atoll.



Sur les côtes de Patagonie en Argentine, (Olmedo-Masat et al. 2020) ont élaboré une nouvelle librairie hyperspectrale qui inclut 28 espèces de macroalgues brunes, rouges et vertes. Une description de la variabilité spectrale intraspécifique est réalisée en considérant les différents tissus de kelp et l'impact de la profondeur (Figure 20). La variabilité peut être due à une spécificité intrinsèque d'un individu (tissus cellulaire, épaisseur des tissus, contenu cellulaire, densité des chloroplastes, contenus pigmentaires), aux conditions environnementales et géographiques (populations subtidales *versus* intertidales). Une analyse statistique sur l'ensemble de la gamme des spectres a été réalisée afin d'identifier des clusters d'algues qui partagent les mêmes caractéristiques. Cela a également permis d'identifier 18 bandes d'intérêt qui permettent de classer des spectres d'algues avec une précision de 85 %. Ces données ont été simulées pour de l'imagerie hyperspectrale acquise par un drone et les capteurs AISA et HySpex.

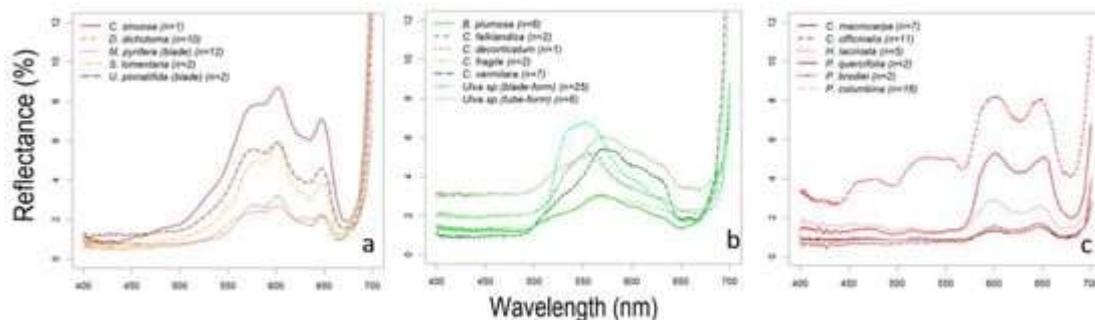


Figure 20. Comparaison des mesures de réflectance des algues brunes (a), vertes (b) et rouges (c).

Une deuxième étude réalisée par Mora-Soto et al. (2020) sur les côtes sud-américaines (Chili) afin de cartographier les forêts de Kelp géants (*Macrocystis pyrifera*) de petits fonds et d'algues vertes intertidales à partir de données Sentinel-2. Plusieurs indices de végétation ont été testés (FAI, NDVI, KD : Kelp Difference) et des données terrain ont permis de définir des seuils de détection. Des images supplémentaires acquises par drone permettent de valider les cartographies qui ont des précisions supérieures à 88 % ($\kappa > 0.64$). L'indice KD donne les meilleurs résultats et a été utilisé pour une cartographie globale sur plusieurs éco-régions.

Une autre étude menée par Qi et al. (2020) a été réalisée à une échelle plus globale à partir des données d'imagerie mondiale reconstituées par la NOAA Ocean Color Viewer. Plusieurs secteurs ont été étudiés afin d'inspecter les nappes colorées à la surface des mers et océans. Ces nappes peuvent être causées par des macroalgues (algues vertes dérivantes, blooms de Sargasses), microalgues (*Noctiluca*, *Trichodesmium*, *Microcystis*) ou encore par des rejets de pétrole ou des colonies de méduses (Figure 21). A partir des données de plusieurs capteurs satellitaires (OLI, MSI, DOVE, WorldView, Pléiades), ces blooms et nappes ont été caractérisés selon leur forme et réflectance spectrale afin d'alimenter une base de données.

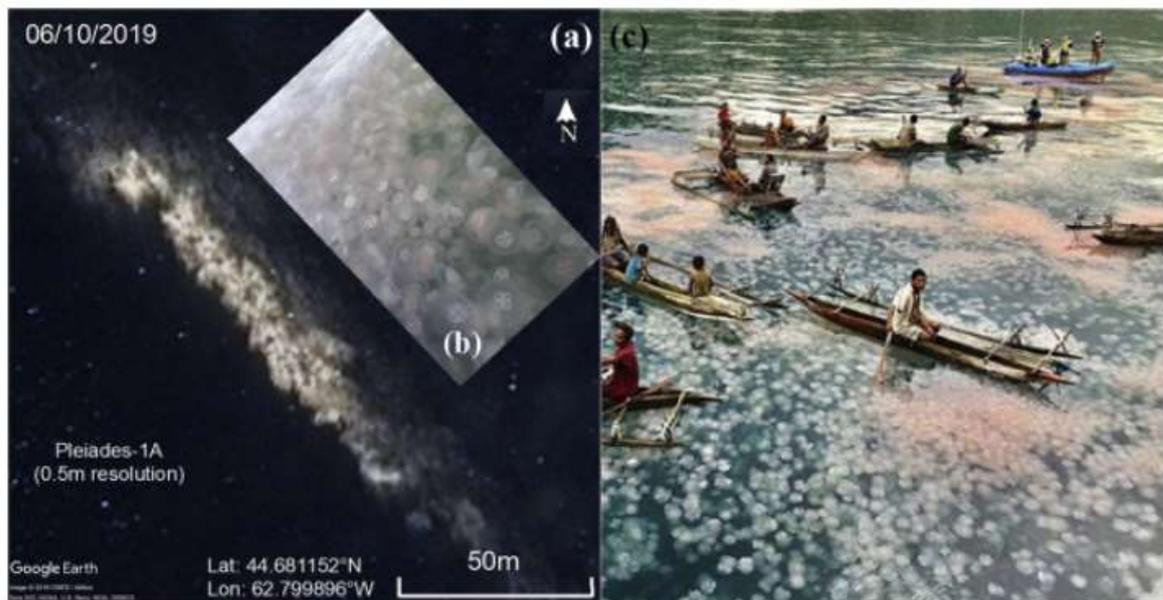


Figure 21. (a) Image Pléiades du 10/06/2019 montrant la nappe claire en Nouvelle Ecosse. (b) Photographie in situ des méduses. (c) Exemple d'un bloom de méduses en Nouvelle-Guinée.

2.5.3.2.2. Descriptions locales du phénomène des marées vertes

Les publications sur la période ciblée concernant la description du phénomène des marées vertes ont principalement concerné les proliférations d'algues vertes en Chine.

Evolutions spatiales et temporelles des marées vertes

Zhang, Haibo, Su, Rongguo et al. (2020) ont suivi les variations spatio-temporelles des proliférations d'algues vertes et des nutriments en mer Jaune au cours du printemps et de l'été 2017, afin d'évaluer le rôle des nutriments dans le développement des marées vertes. L'étude met en évidence deux zones géographiques associées à des phases de développement distinctes (Figure 22) : (1) la « zone de développement » (DA) localisée au sud de la latitude 35°N, caractérisée par une rapide expansion de la marée verte et de fortes concentrations en nutriments; (2) la « zone d'accumulation » (AA), localisée au nord de la latitude 35°N, caractérisée par une forte surface de couverture d'*U. prolifera* et de faibles concentrations en nutriments inorganiques. L'étude estime que la zone de développement fournit 96 % de l'azote et 87 % du phosphore utilisés pour le développement des marées vertes en 2017, et qu'ils étaient principalement sous forme d'azote inorganique dissous (DIN) et de phosphore organique dissous (PO_4^{3-} -P). Les composés azotés et phosphorés de la zone d'accumulation étaient principalement sous forme organique dissous (DON, DOP).

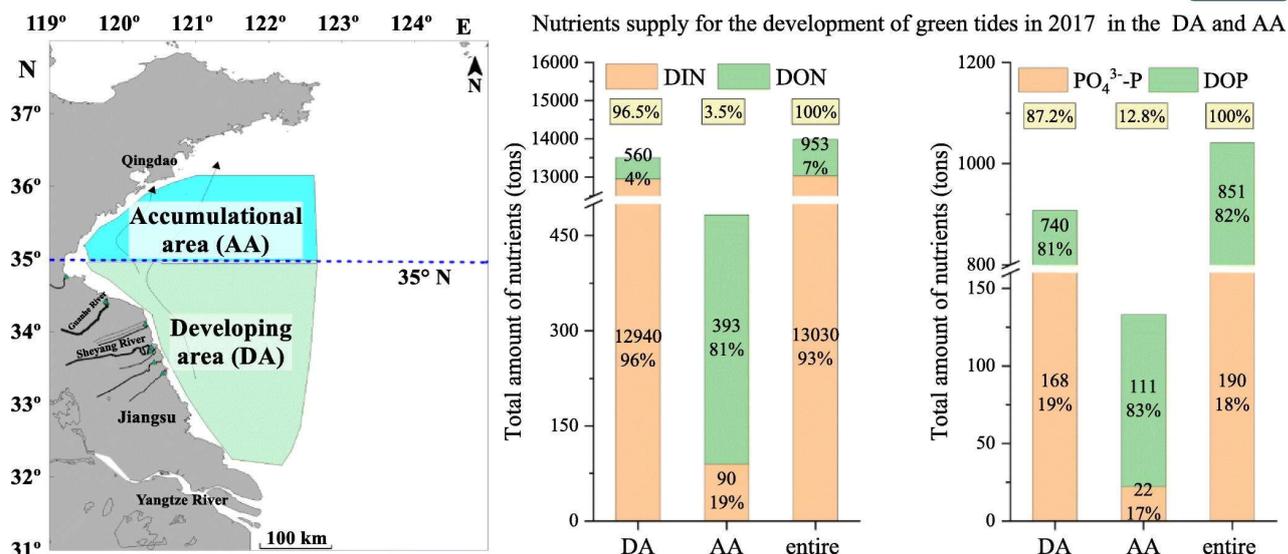


Figure 22. Issue de Zhang, Haibo, Su, Rongguo et al.(2020) : carte illustrant deux zones géographiques associées à des phases de développement d'algues vertes distinctes en mer Jaune (DA : Zone de développement, AA : Zone d'accumulation) et graphiques représentant l'apport en nutriments azotés et phosphorés utilisé par les ulves pour leur développement dans chacune des deux zones identifiées.

Selon Zhang, Haibo, Wang, Guoshan et al.(2020), le développement des ulves en mer Jaune suit trois phases successives : (1) une phase de latence, (2) une phase de croissance exponentielle (3) une phase de stabilisation. La phase de croissance exponentielle génère approximativement 80 % de la biomasse d'algues vertes, et se situerait principalement dans la zone comprise entre les latitudes 34,5°N et 35,5°N, qui se caractérise par de fortes concentrations en nutriments, des températures douces et une forte intensité lumineuse. L'apport en nutriments au cours de la phase exponentielle, de mai à juin, conditionnerait l'intensité de la marée verte.

À partir des observations *in situ* réalisées de 2009 à 2018, Xiao et al. (2020) ont documenté la variabilité saisonnière et interannuelle des proliférations d'*U. prolifera* dans la région de Subei Shoal. Leurs observations suggèrent que la biomasse d'ulves constituant les marées vertes proviendrait du centre de cette région de mi-avril à fin avril. En mai et juin, cette biomasse augmenterait ensuite rapidement, dériverait et s'étendrait au large. Ils constatent également une augmentation générale de la biomasse d'algues vertes produite chaque année, même si des variations inter-annuelles sont observées.

Hao, Guan et al. (2020) ont ciblé la phase de déclin des proliférations d'*U. prolifera* dans la région de Subei Shoal et de Qingdao afin d'identifier les changements physiologiques associés à cette phase. Ils démontrent qu'en fin de saison, le déclin de la biomasse algale serait induit par l'augmentation des températures et les fortes intensités lumineuses, qui engendrent la diminution des capacités photosynthétiques d'*U. prolifera* et la destruction de son système anti-oxydant.

Li, Dongxue et al. (2020) se sont intéressés à l'évolution spatiale des marées vertes dans les eaux côtières de Rongcheng de 2013 à 2018 (en mer Jaune) au moyen de données satellitaires, de suivis par drones, et de campagnes *in situ*. Leurs résultats montrent que la marée verte a, de manière générale, dérivé vers le nord au cours des années pour atteindre la latitude de 37,662°N en 2014. La variabilité inter-annuelle de la position la plus au nord de la marée verte serait induite par l'action du vent.



Composition spécifique des proliférations d'*Ulva* spp.

L'identification des espèces d'ulves se développant dans les eaux chinoises a été réalisée sur la base de l'outil moléculaire au cours d'une période d'investigation de 10 ans (Xie et al. 2020). L'étude met en évidence six nouvelles espèces exotiques d'*Ulva* sp. : *U. simplex*, *U. splitiana* et *U. partita* présentes dans les eaux tempérées de Chine, et trois espèces subtropicales, *U. meridionalis*, *U. tepida* et *U. chaugulii*, dominant les marées vertes au sud de la mer de Chine, mais se développant aussi dans les eaux tempérées.

Miao et al. (2020) ont mené une campagne dans la région de Subei Shoal au cours de la phase d'initiation de la marée verte de 2016, afin d'identifier et d'évaluer la distribution spatiale des algues vertes et micropropagules (Figure 23). Principalement étendue au nord de la région de Subei Shoal, la marée verte était dominée par l'espèce *U. prolifera* (à 91,2%), majoritairement sous la forme « dérivante ». En comparaison, les micropropagules étaient plus abondantes autour des radeaux d'aquaculture et, cette abondance diminuait avec la distance aux radeaux. Les micropropagules étaient principalement composées des espèces *U. linza* (48,5 %) et *U. prolifera* (35,1%). Ces résultats n'indiquent pas une directe contribution des micropropagules à la biomasse d'ulves composant les marées vertes : la distribution spatiale des algues vertes en début de bloom résulterait de l'origine de la biomasse algale et des facteurs environnementaux de la zone (*i.e.* intensité lumineuse), tandis que l'abondance des micropropagules serait étroitement liée à la proximité des radeaux d'aquaculture.

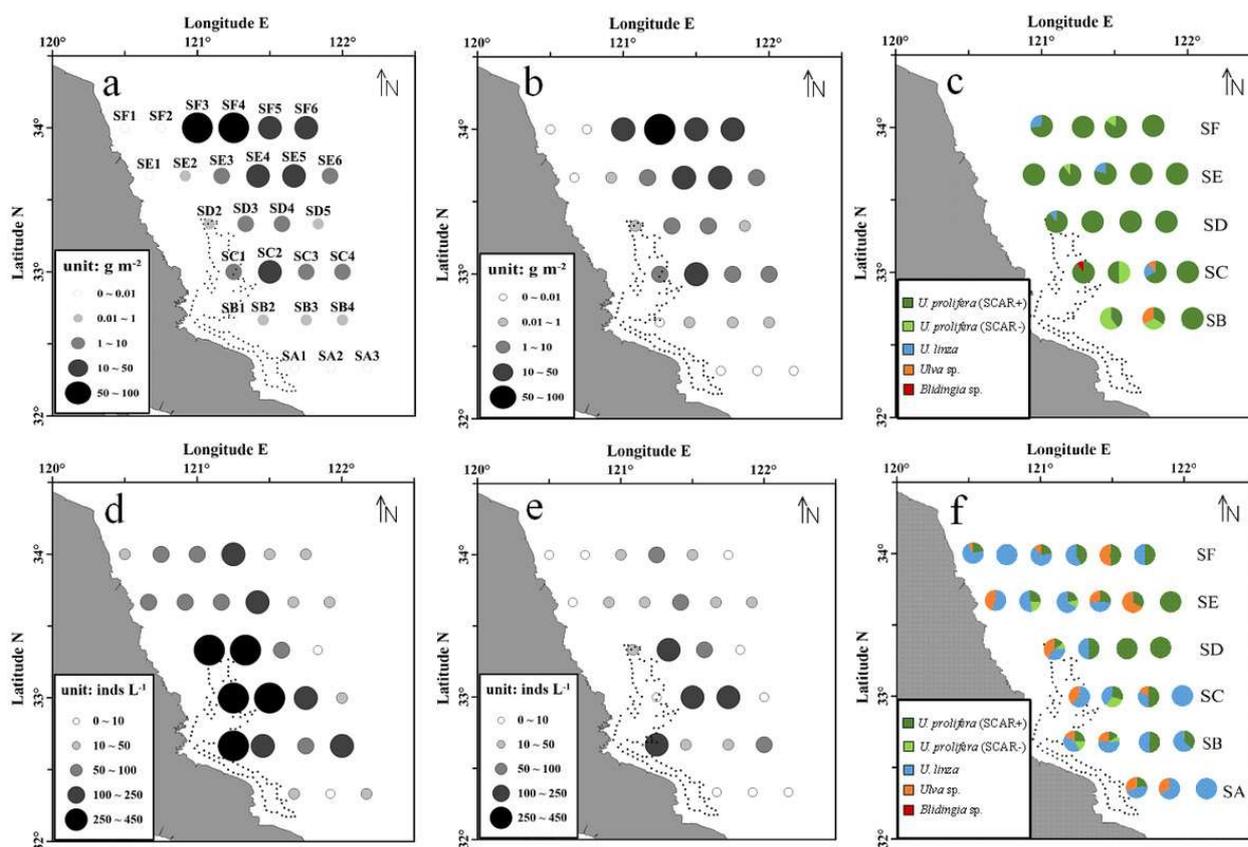


Figure 23. Issue de Miao et al. (2020) -Abondance et composition spécifique des algues vertes « dérivantes » et des micropropagules dans la région de Subei Shoal. Les lignes en pointillés indiquent la distribution des radeaux d'aquaculture de *Pyropia*.



Modélisation

Quatre études de modélisation ont été publiées sur la période ciblée pour évaluer l'impact des paramètres abiotiques (*e.g.* température, lumière, nutriments dont les apports terrigènes) et biotiques (*e.g.* biomasse d'algues vertes présente en début de saison) sur le développement d'*U. prolifera* en mer Jaune. Plusieurs modèles ont été développés et validés à partir de données *in situ* ou d'expérimentations en conditions contrôlées de laboratoire : un modèle hydrobiogéochimique associé à la phase d'initiation des proliférations d'*U. prolifera* sur la côte de Jiangsu (Chen, Yanan et al. 2020), deux modèles de croissance (Wang, Changyou et al. 2020; Sun, Ren et al. 2020) ainsi qu'un modèle de croissance couplé à un modèle hydrodynamique (Sun, Sun et al. 2020). Wang, Changyou et al. (2020) ont notamment développé leur modèle de croissance en prenant en considération l'effet combiné des niveaux de lumière et de nutriments. Ces études ont notamment mis en évidence 1) l'importance de limiter les apports terrigènes en mer Jaune, car ces apports peuvent jouer un rôle dans le déclenchement et le développement des marées vertes dans cette région (Chen, Yanan et al. 2020) ; 2) que l'intensité de la marée verte est principalement contrôlée par la biomasse initiale d'algues vertes et la disponibilité en nutriments, en particulier l'azote inorganique dissous (Sun, Ren et al. 2020) ; 3) que la zone de culture de *Porphyra* pourrait jouer un rôle clé dans l'intensité du bloom saisonnier (Sun, Sun et al. 2020; Wang, Changyou et al. 2020).

2.5.3.2.3. *Descriptions locales d'autres proliférations macroalgales*

Aucun article n'a été trouvé concernant la description locales des proliférations de *Pylaiella* spp., de *Solieria* spp., et d'*Asparagopsis* sp.

Sargassum spp.

Quatre articles ont étudié les mécanismes de formation des proliférations de sargasses au niveau des côtes sud-coréennes et chinoises (mer Jaune, mer de Chine). Zhuang et al. (2021) ont réalisé une vaste campagne d'échantillonnage dans ces zones afin d'identifier l'origine des marées brunes. Les analyses moléculaire et morphologique des thalles de sargasses ont démontré que tous les individus prélevés correspondaient à l'espèce *Sargassum horneri*, et que quatre morphotypes pouvaient être distingués (Figure 24). Par ailleurs, une faible diversité génétique a été mise en évidence entre les individus prélevés au sud de la Corée, au sud de la mer Jaune, et à l'est de la mer de Chine. Leurs résultats suggèrent que les populations de *Sargassum horneri* de l'est de la mer de Chine seraient responsables de la formation des marées brunes en mer Jaune.

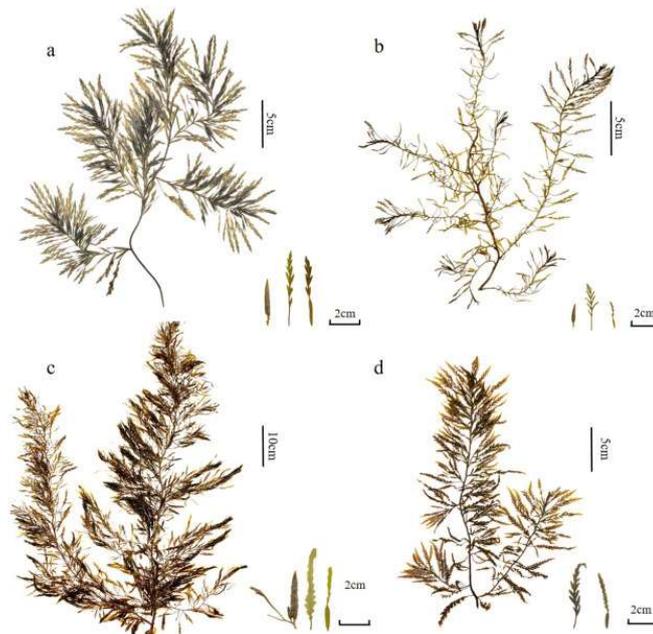


Figure 24. Photographie des quatre morphotypes de *S. horneri* observés en mer Jaune et mer de Chine dans le cadre de l'étude de Zhuang et al. (2021)

Choi et al. (2020) ont investigué la dynamique des proliférations de *S. horneri* sur deux sites de la côte sud-coréenne (Jundo et île de Jeju). Ils montrent que leur cycle saisonnier suit l'évolution de la température de l'eau : les thalles sont recrutés de septembre à novembre, ils se développent de décembre à avril (avec un pic de biomasse entre janvier et mars), et déclinent en juillet. Une expérimentation en conditions contrôlées, menée par Yong Wang et al. (2021), a d'ailleurs permis de montrer que les fortes températures et les faibles intensités lumineuses exerçaient un effet négatif sur la croissance et les capacités photosynthétiques de *S. horneri*.

À partir des observations *in situ* réalisées de 2009 à 2018, Xiao, Fan et al. (2020) ont documenté la variabilité saisonnière et inter-annuelle des proliférations d'*U. prolifera* et de *S. horneri* dans la région de Subei Shoal (mer Jaune), où les proliférations printanières de sargasses ont été observées en 2013, 2017 et 2018 en parallèle de celles des ulves. Au cours de ces années, les biomasses de *S. horneri* formées étaient significativement supérieures à celles des ulves. La dynamique de formation et de développement des proliférations de ces deux espèces au cours de l'année 2017 a été plus spécifiquement décrite par Xiao, Wang et al. (2020). Selon leurs observations, l'origine des proliférations massives de *S. horneri* serait différente de celle des ulves : les biomasses de *S. horneri* seraient à la fois issues de la reconduction des algues résiduelles formées au cours de la saison précédente, et du transport vers le sud des thalles provenant du large. Les causes du développement de *S. horneri* dans cette région de la mer Jaune restent néanmoins à être déterminées.

Gracilaria sp.

Les proliférations de *Gracilaria vermiculophyllum* ont été confirmées dans les eaux de la République d'Irlande à partir d'images satellites historiques, de l'outil moléculaire et d'une année de suivi de la biomasse algale et des conditions environnementales (Bermejo et al. 2020). Dans cette région du monde, la première prolifération de *G. vermiculophyllum* a été observée en 2014. L'étude indique que la lumière, la température et le phosphore sont des facteurs essentiels à son développement, et non la disponibilité en azote. Cette espèce est capable de se développer dans des zones où les espèces natives ne le peuvent pas, et de produire de fortes biomasses au cours de la saison, pouvant créer des événements anoxiques.



Cette espèce pourrait ainsi avoir un effet négatif sur la biodiversité locale et le fonctionnement des écosystèmes dans le contexte du changement climatique.

[Chaetomorpha sp.](#)

Li-hong et al. (2020) ont décrit l'évolution saisonnière des blooms de *Chaetomorpha valida*, qui sont régulièrement observés dans les bassins de culture d'*Apostichopus japonicus*, un concombre de mer, au nord de la Chine. L'étude montre une corrélation positive entre le niveau d'azote du milieu et la croissance de *C. valida*. Cette algue verte est capable d'utiliser différentes formes d'azote dans son environnement pour soutenir son rapide développement.

2.5.3.3. Impacts des proliférations

2.5.3.3.1. Sur les organismes et les populations sauvages

L'impact des proliférations d'*U. prolifera* sur les communautés microbiennes dans la zone de Qingdao a fait l'objet de deux études en 2020 (Qu et al. 2020; Wang, Jianhua et al. 2020). Au moyen de l'outil moléculaire, Wang, Jianhua et al. (2020) ont analysé l'évolution de la diversité des communautés microbiennes dans la zone côtière au cours du bloom saisonnier d'*U. prolifera*. Ils montrent que l'initiation de la marée verte s'accompagne d'une augmentation de la diversité de ces communautés et de l'abondance de certaines bactéries. Avec le déclin d'*U. prolifera*, la diversité des communautés microbiennes semble revenir à son état initial pré-bloom. Au large de Qingdao, Qu et al. (2020) montrent, à l'inverse, que l'initiation de la marée verte engendre une réduction de la diversité et de l'abondance des communautés bactériennes, induisant une modification de la diversité fonctionnelle des communautés.

L'impact des proliférations algales sur l'écologie des poissons a également été traité par deux articles de 2020 (Jones et al. 2020; Nordheim et al. 2020). Jones et al. (2020) se sont intéressés aux conséquences sur les poissons plats (*e.g.* turbots, plies, sole) au stade juvénile au niveau des zones sableuses de l'Atlantique Nord-Est sur une zone impactée (Baie de Douarnenez) et non impactée (Presqu'île de Crozon, Mer d'Iroise). L'étude indique que les proliférations d'algues vertes ont modifié leur comportement et régime alimentaire ; cette modification étant différente d'une espèce de poisson plat à l'autre. En mer Baltique, Nordheim et al. (2020) ont investigué l'effet des proliférations d'*Ulva intestinalis* et *Pylaiella littoralis* sur la survie des œufs d'harengs (*Clupea harengus*). À partir d'expérimentations *in situ* et en conditions contrôlées en laboratoire, ils démontrent que *Pylaiella littoralis* induit un fort taux de mortalité des œufs de harengs, tandis qu'*Ulva intestinalis* n'a aucun effet sur ce paramètre.

Enfin, Gao, Hong et al. (2020) ont mis en évidence que les thalles d'*U. prolifera* en phase de déclin produisaient de nombreux composés allélopathiques (*i.e.* acides gras, énols), avec un effet toxique significatif sur la diatomée *Skeletonema costatum*.

2.5.3.3.2. Sur le milieu abiotique

[Le cycle du carbone](#)

Chen, Jing et al. (2020) ont décrit la réponse des communautés microbiennes au déclin de la prolifération saisonnière d'*U. prolifera* en mer Jaune, ainsi que son impact sur le cycle du carbone (Figure 25). À partir du suivi de la dégradation de cette algue verte sur une période de 520 jours, ils montrent qu'au cours de la première semaine, son déclin engendre un relargage de carbone organique dissous (COD) qui favorise la croissance rapide de bactéries. La portion labile du COD produit est progressivement utilisée par les bactéries sur un mois, tandis que la dégradation du COD semi-labile/-réfractaire se déroulent sur une

période de 6 mois. Le COD réfractaire représente 1,6 % de la biomasse carbonée des algues et, étant résistant aux bactéries, reste stable pendant 10 mois. Les auteurs concluent, de fait, que les marées vertes impactent le cycle de carbone et peuvent avoir un effet cumulatif important localement sur le stock de COD réfractaire.

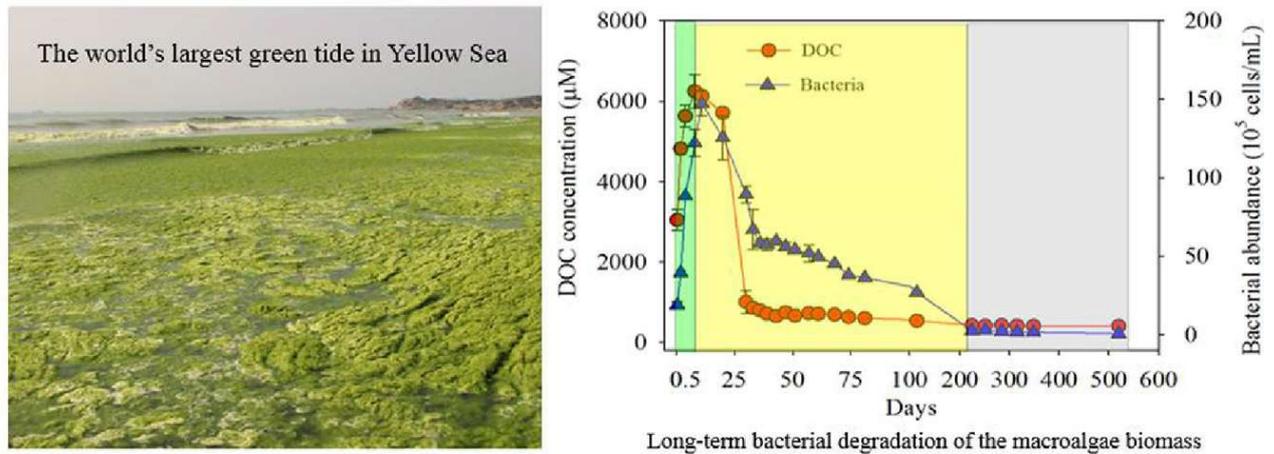


Figure 25. Issue de Chen, Jing et al. (2020) – Photographie des marées vertes en mer Jaune (à gauche) et graphique représentant les concentrations en COD, et l'abondance en bactéries au cours de la dégradation d'*U. prolifera* (à droite).

Les nutriments

En mer Jaune, Zhang *et al.* (2021) ont évalué l'évolution des processus d'absorption, de métabolisation et de conversion de l'azote ayant lieu chez *U. prolifera* au cours de sa croissance et de son déclin, afin d'évaluer l'effet de son cycle de vie sur le cycle de l'azote. Ils montrent qu'en phase de croissance, *U. prolifera* agit comme une « pompe à azote » en absorbant de grandes quantités de nitrates dans le milieu. En revanche, la décomposition d'*U. prolifera* se caractérise par un important relargage d'ammonium et d'azote organique dissous. Ces résultats suggèrent que le cycle croissance-déclin d'*U. prolifera* impacte les stocks de nutriments azotés localement. Dans les eaux côtières de d'Haiyang (mer Jaune), Zhang *et al.* (2020) montrent également que la décomposition d'*U. prolifera* s'accompagne d'un relargage de nutriments, et remarquent que ce relargage favorise la croissance du phytoplancton.

Les microplastiques

Deux articles publiés en 2020 ont analysé les interactions existant entre les proliférations d'algues vertes et les pollutions en microplastiques en mer de Chine (Feng et al. 2020; Gao, Fenglei et al. 2020). Les deux études ont démontré que la quantité de microplastiques piégés dans les thalles d'*Ulva prolifera* était beaucoup plus élevée (595-3917 fois) que celle mesurée dans l'eau de mer. Les microplastiques piégés avaient une taille comprise entre 2-5 mm et correspondaient principalement à du polystyrène et du polyéthylène téréphthalate. En revanche, les microplastiques n'ont pas eu d'effet sur les propriétés physiologiques d'*U. prolifera*. Les auteurs avancent donc qu'en agissant comme un piège à plastiques, les marées vertes participent à réduire les pollutions en microplastiques dans le milieu en mer de Chine.

La composition des sédiments

Gubelit et al. (2020) ont montré que les tapis d'algues vertes sur le littoral du Golfe de Finlande modifiaient la distribution en métaux (zinc, cadmium, plomb) des sédiments de surface, avec une contamination plus élevée dans les zones affectées par des échouages massifs d'algues vertes. Ils concluent que les blooms de macro-algues, qui sont susceptibles de s'intensifier avec le changement climatique, pourraient engendrer d'importantes contaminations du sédiment par les métaux.



Les composés sulfurés

Dans la zone de Qingdao, deux études ont investigué l'évolution des composés biogéniques sulfurés (*i.e.* le diméthylsulfide (DMS), l'acide acrylique et le diméthylsulfoniopropionate) au cours des proliférations saisonnières d'*U. prolifera* de 2015 et 2018 (Han et al. 2021; Liu, Chun-Ying et al. 2020). En comparant les flux de ces composés sulfurés à l'interface air-mer, ils démontrent que les blooms d'*U. prolifera* en mer Jaune engendrent des émissions de DMS dans l'atmosphère significativement plus élevées que dans les zones non-touchées par les marées vertes.

Senga et al. (2020) se sont également intéressés à l'impact du déclin des ulves sur les composés sulfurés au niveau de la vasière de Yatsu (au Japon), où ils relèvent de fortes concentrations en sulfides au niveau des tapis d'ulves à la suite du pic de biomasse. À partir d'une expérimentation en conditions contrôlées, ils montrent que les composés sulfurés ne sont détectés qu'en présence d'*Ulva* spp., ce qui leur permet de conclure que les ulves impactent le cycle du soufre sur la vasière de Yatsu.

L'oxyde nitrique

À partir d'expérimentation en conditions contrôlées, Wang, Ke-Ke et al. (2020) montrent que, pendant sa phase de croissance, *U. prolifera* peut produire et relâcher de l'oxyde nitrique (NO) dans le milieu, tandis que pendant sa phase de déclin, elle l'absorbe. Le suivi des concentrations en NO dans les eaux côtières de Qingdao en parallèle de la prolifération saisonnière d'*U. prolifera* de 2018 indique que (1) les fortes concentrations en NO observées en fin de bloom proviennent principalement d'*U. prolifera*, et que (2) la zone d'étude représente une source nette de NO vers l'atmosphère, qui s'intensifie au cours de la marée verte.

2.5.3.3. *Sur les activités humaines*

Une évaluation économique des dommages causés par les proliférations d'*U. prolifera* en Chine a été réalisée par Xu et al. (2020) à partir d'une analyse coûts-avantages. Un sondage réalisé auprès des résidents chinois a indiqué qu'ils seraient prêts à payer en moyenne 54,98 CNY (soit 7 €) par an, pour la gestion marées vertes. L'étude analyse le concept de perception des risques, l'utilisation des médias et la théorie du comportement planifié pour comprendre leurs effets sur les choix réalisés par les résidents.

2.5.3.4. *Facteurs contribuant au développement des marées vertes*

2.5.3.4.1. *Facteurs anthropiques*

En 2020, Wang et al. (2020) ont publié un article visant à synthétiser et analyser les études de la littérature traitant des marées vertes et les hypothèses avancées pour expliquer leur mécanisme de formation. Ils mettent en évidence que l'apport excessif en nutriments azotés favorise la production d'oxyde nitrique, qui est un composé essentiel à la sporulation d'*Ulva* spp. Ils soulignent également que la présence d'un substrat de fixation pour *Ulva* spp. (*e.g.* radeaux de culture) est un facteur supplémentaire pouvant jouer un rôle significatif dans la formation des marées vertes.

Han, Fan et al. (2020) se sont d'ailleurs intéressés à la contribution des thalles d'*U. prolifera* fixés aux radeaux de culture de l'algue rouge *Pyropia* à la formation des marées vertes dans la région de Subei Shoal, en Chine. À partir de la caractérisation des ulves fixées, ils suggèrent que les ulves libres associées au bloom saisonnier pourraient provenir du détachement des thalles d'*U. prolifera* fixés sur les radeaux de culture, qui possèdent une bonne flottaison et de fortes vitesses de croissance.



L'impact de la culture de palourdes sur la formation des marées vertes dans le lagon Sacca di Goro, en Italie, a également fait l'objet d'une étude en 2020 (Naldi et al. 2020). À partir d'une expérimentation en mésocosme, l'étude a démontré que la présence des palourdes stimulait clairement la croissance des ulves et engendrait une augmentation de leur contenu tissulaire en chlorophylle-*a*, azote et phosphore. Les auteurs confirment l'hypothèse que la filtration de la matière particulaire en suspension par les palourdes accroît le recyclage des nutriments azotés et phosphorés, et réduit simultanément la biomasse de phytoplancton, facilitant alors la croissance des macro-algues.

Enfin, une étude s'est intéressée aux flux de nutriments associés aux décharges d'eau souterraine en mer (SGD) dans la région de Subei Shoal (Zhao et al. 2021). Elle démontre que ces flux représentent la principale source de nutriments pour les algues vertes dans cette région, en comparaison aux flux en nutriments issus des cours d'eau, des dépôts atmosphériques et des activités anthropiques (*e.g.* mariculture). De fait, les auteurs concluent que cette zone est susceptible d'être impactée par des proliférations algales, même si les flux terrigènes sont limités (Figure 26).

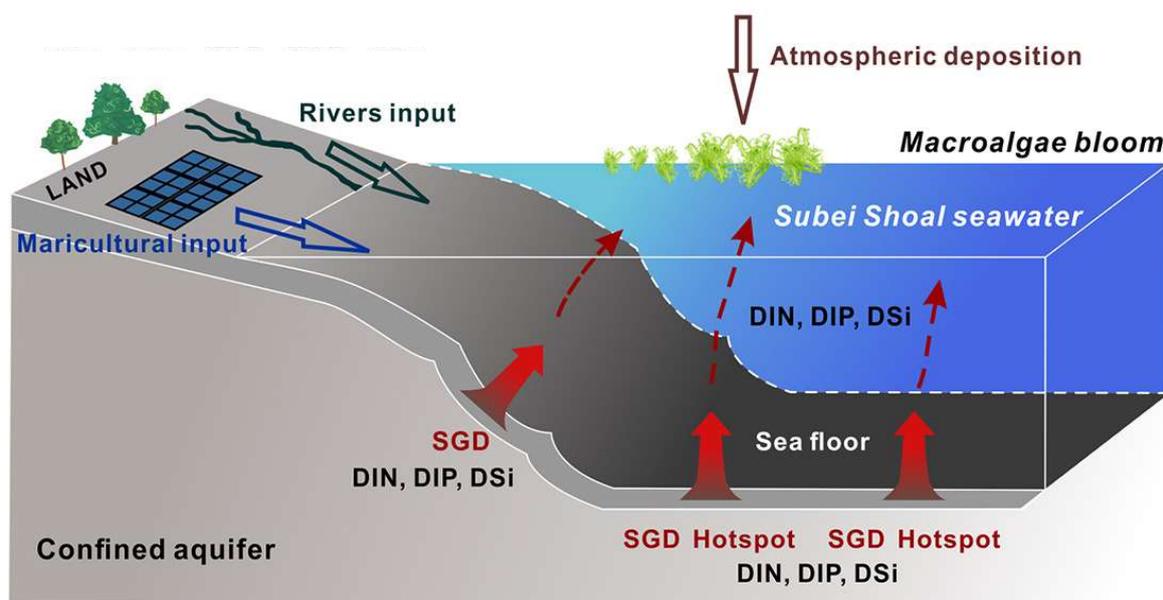


Figure 26. Schéma issu de Zhao et al. (2011) représentant les différentes sources d'apports en nutriments dans la zone côtière de Subei Shoal.

2.5.3.4.2. Facteurs environnementaux abiotiques

Quatre études visant à étudier l'impact des facteurs abiotiques (nutriments, température des eaux de surface, intensité lumineuse, cycle des marées) sur les proliférations d'ulves en mer Jaune ont été publiées en 2020 (Jiang, Binbin et al. 2020; Zhang, Guangzong, Wu, Mengquan, Zhang, Anding et al. 2020) :

- En combinant l'imagerie satellitaire (*Geostationary Ocean Color Imager, GOCI*) pour le suivi des algues vertes et un nouveau modèle d'estimation de biomasse, Jiang, Binbin et al. (2020) parviennent à documenter la dynamique de la biomasse d'algues vertes en mer Jaune à l'échelle de l'heure. Cela leur permet de mettre en évidence que les changements de biomasses à court terme sont fortement influencés par le PAR (Rayonnement Photosynthétiquement Actif) et le cycle des marées, mais moins impactés par la température des eaux de surface.



- Zhang, Guangzong, Wu, Mengquan, Zhang, Anding et al. (2020) ont mis en relation la distribution spatio-temporelle d'*Ulva prolifera* en mer Jaune (à partir d'images satellites) sur la période 2011-2018 avec les données de PAR et de température des eaux de surface enregistrées sur la même période. L'étude montre que 1) la surface couverte par les proliférations d'algues vertes s'est étendue progressivement chaque année et 2) que le déclenchement du bloom saisonnier était étroitement lié à la température des eaux de surface, au PAR mais aussi à la disponibilité en nutriments.
- Shao et al. (2020) ont exploré les impacts du fer et du carbone inorganique dissous (CID) sur les blooms d'*Ulva prolifera* en mer Jaune en combinant les outils de la télédétection, un monitoring *in situ* et des expérimentations en conditions contrôlées. L'étude montre que les proliférations d'*Ulva prolifera* sont favorisées par des concentrations en fer et CID élevées et par un pH relativement faible.
- Les caractéristiques hydrologiques du sud-ouest de la mer de Chine ont également été investiguées au cours de la saison 2017 (avril-septembre) dans le but d'identifier leur potentiel impact sur le transport des nutriments (Wang, Junjie et al. 2020). Cette région se caractérise par des fronts de nutriments, de salinités et de températures (Figure 27). Les flux de nutriments (azote inorganique dissous, phosphates et silicates), associés à l'upwelling créé au niveau du front, augmentent d'avril à fin juin, et diminuent dès début septembre. Ces nutriments apportés par upwelling pourraient contribuer à la formation de la marée verte locale mais aussi à la croissance de phytoplancton pendant la période printemps-été.

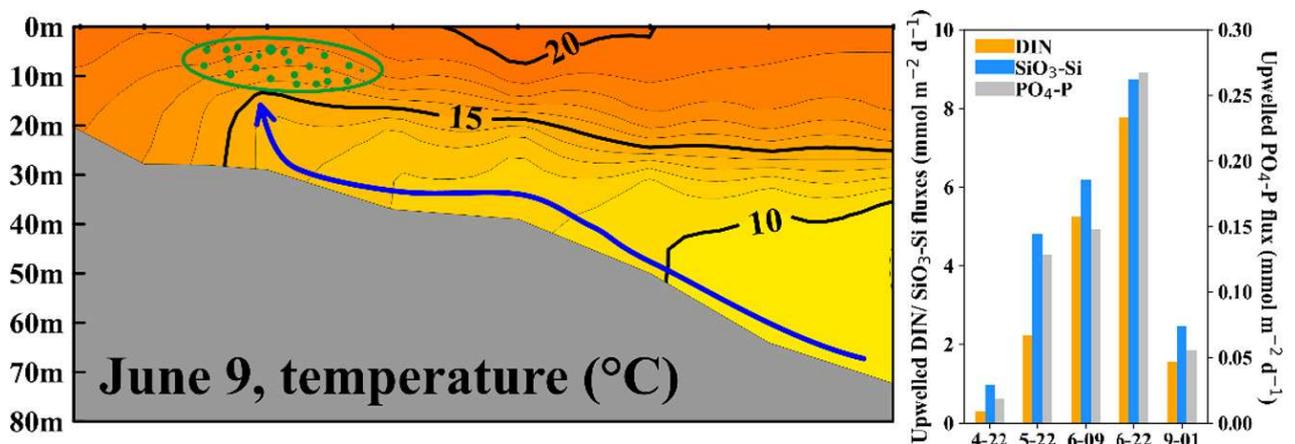


Figure 27. Issue de Wang, Junjie et al. (2020) représentant la distribution verticale de la température (à gauche) dans la zone Sud-Ouest de la mer de Chine, et l'évolution des flux de nutriments (DIN : azote inorganique dissous ; SiO₃-Si : Silicates ; PO₄-P : phosphates) générés par l'upwelling au cours de la saison selon les 5 dates (à droite).

Trois articles de 2020 ont étudié, à partir d'expérimentations en conditions contrôlées, l'impact des paramètres abiotiques sur la physiologie des ulves dans l'optique d'anticiper l'effet du changement climatique sur les proliférations saisonnières d'algues vertes en Corée et en Chine (Kambey, Kang et Chung 2020; Lee et Kang 2020; Zhong et al. 2020) :

- Kambey, Kang et Chung (2020) ont évalué les réponses physiologiques d'*Ulva australis* à différentes combinaisons de paramètres abiotiques, qu'étaient la température (10°C, 20°C et 30°C), le pH (7,80 et 8,20) et la concentration en ammonium (4 et 120 μmol.L⁻¹). L'étude montre que la température, la concentration en ammonium et le pH ont un impact significatif sur les vitesses d'absorption en



nutriments et les vitesses photosynthétiques. Les résultats suggèrent que, dans le contexte du changement climatique, les proliférations d'*U. australis* devraient se poursuivre dans les eaux côtières coréennes, qui seront caractérisées par une température et un pH plus élevés ainsi que par de forts niveaux de concentration en nutriments.

- Lee et Kang (2020) ont étudié l'effet combiné de différents niveaux de températures (15°C, 20°C, 25°C et 30°C) et de concentrations en ammonium (4, 60 et 120 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) sur les propriétés physiologiques d'*Ulva linza*, qui prolifère notamment en Corée. L'étude montre que la température impacte ses vitesses photosynthétiques et d'absorption en ammonium, et que l'augmentation des concentrations en ammonium augmente, en plus de ces deux paramètres, son efficacité photosynthétique ainsi que son contenu tissulaire en azote et son rapport C:N.
- Afin d'évaluer l'effet de l'augmentation de la température de l'eau et de la pollution en métaux lourds sur les proliférations d'*Ulva prolifera* en mer Jaune, Zhong et al. (2020) ont analysé ses réponses physiologiques (i.e. vitesses de croissance, vitesses photosynthétiques et de respiration) à une combinaison de gradient de températures (15, 20, 25 °C) et de concentrations en Zn^{2+} (0, 0,0026, 0,026, 0,26, et 0,52 mg.L^{-1}). Les résultats suggèrent que l'augmentation de la température de l'eau, attendue dans le contexte du changement climatique, devrait accroître les effets d'inhibition des métaux lourds sur les performances physiologiques d'*U. prolifera*.

2.5.3.5. Facteurs biologiques

2.5.3.5.1. Métabolismes

Trois articles parus en 2020 ont étudiés les processus métaboliques des ulves associés au processus d'absorption et d'assimilation en nutriments :

- Chai, Wang et Ge (2020) se sont intéressés aux processus d'absorption, d'accumulation et d'utilisation en nutriments chez *U. prolifera* pour comprendre comment cette algue pouvait maintenir sa croissance lorsque les niveaux en nutriments du milieu sont bas. À partir d'une expérimentation en conditions contrôlées testant la réponse physiologique d'*U. prolifera* à différentes concentrations en nutriments dans le milieu, ils montrent qu'*U. prolifera* absorbe et stocke les nutriments en excès en milieu enrichi, ce qui lui permet, lorsque le milieu s'appauvrit en nutriments, de puiser dans ses réserves pour poursuivre sa croissance.
- Dans le même objectif, Yang, Juanjuan et al. (2020) ont étudié les processus métaboliques de l'azote chez *U. prolifera* en analysant les réponses enzymatiques à une limitation en azote. Ils montrent que la limitation en azote déclenche l'activation des MAP-kinases (mitogen-activated protein kinases), et augmente la nitrate réductase, la nitrite réductase, et la glutamine synthase chez *U. prolifera*. Il semble que l'activation des MAP-kinases permette à *U. prolifera* de s'adapter aux fluctuations de niveaux d'azote observées sur de courtes échelles de temps.
- Fan et al. (2020) ont ciblé les processus d'absorption en ammonium, nitrates et phosphates chez *U. linza* en réponse à des variations de températures et de concentrations en nutriments. L'expérimentation en conditions contrôlées montre que ces deux paramètres ont un effet sur les vitesses d'absorption en nutriments d'*U. linza* ; l'optimum de température se situant à 15 °C et celui en nutriments s'élevant à 1399 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ d'ammonium, 710 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de nitrates, et 231 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de phosphates.

En 2020, une étude investiguant les voies métaboliques de fixation de carbone d'*U. prolifera* a également été publiée (Liu, Dongyan et al. 2020). Cette étude montre qu'*U. prolifera* utilise plusieurs voies différentes: le cycle de Calvin-Benson (principalement pour l'absorption du dioxyde de carbone (CO_2)), le cycle de Hatch-



Slack (dans le cas de fortes intensités lumineuses) et un mécanisme de déshydratation de l'ion bicarbonate par l'enzyme anhydrase carbonique (dans le cas de bas niveaux de concentration en CO_2). La capacité d'*U. prolifera* à utiliser plusieurs voies métaboliques pour fixer le carbone pourrait lui conférer un avantage physiologique, les amas d'algues flottant à la surface de l'eau étant soumis à de fortes intensités lumineuses et une limitation en CO_2 .

Une étude s'est également intéressée aux modifications physiologiques et biochimiques d'*U. pertusa* pendant sa phase de sporulation (Park 2020). Le passage de sa forme végétative à sa phase de sporulation s'est caractérisé par une augmentation de son contenu en chlorophylles *a* et *b*, et en caroténoïdes ainsi que par une diminution de ses performances photosynthétiques. L'étude suggère que les caroténoïdes sont impliqués dans l'initiation et/ou la maturation des spores, ainsi que dans leur photoprotection

2.5.3.5.2. Reproduction et cycles biologiques

Huo et al. (2021) ont évalué l'impact d'un gradient de températures et d'intensités lumineuses sur la germination et la croissance des parthénogamètes d'*Ulva prolifera* en mer Jaune (Figure 28). Ils montrent que les parthénogamètes d'*U. prolifera* ne peuvent pas germer à 5°C et 35°C, et à toute température dans des conditions d'obscurité. En revanche, une forte germination et une croissance élevée ont été observées à des températures comprises entre 15-25°C et des intensités lumineuses de 80–160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Ces résultats mettent en évidence que les parthénogamètes d'*U. prolifera* doivent contribuer à la formation des marées vertes en mer Jaune, de par leurs fortes vitesses de germination et de croissance, et leur capacité à survivre à des stress environnementaux.

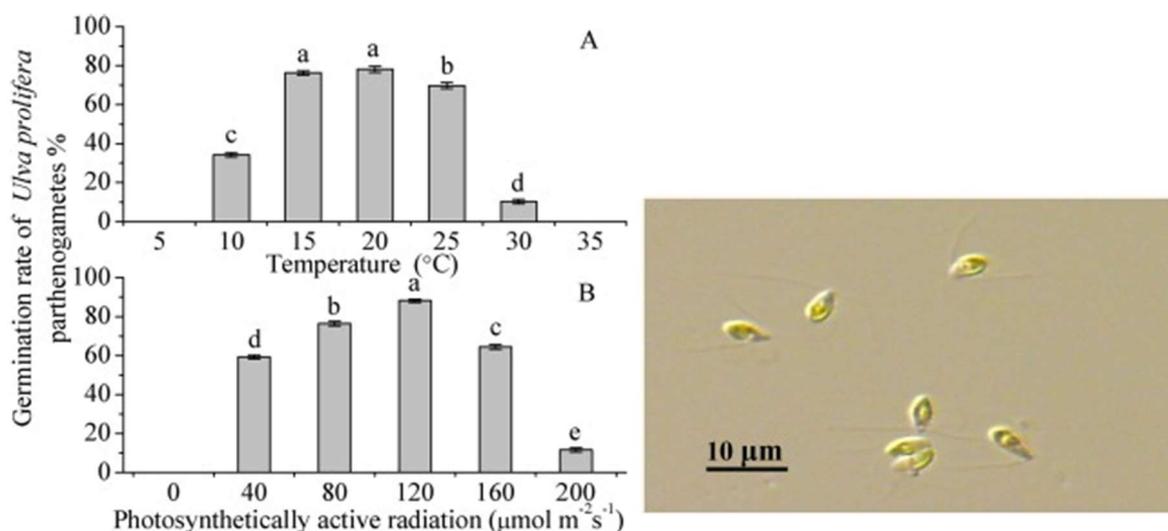


Figure 28. Issue de Huo et al. (2021) – Graphiques représentant le pourcentage de germination des parthénogamètes d'*U. prolifera* en réponse à différentes conditions de température (A) et d'intensité lumineuse (B), et photographie des parthénogamètes d'*U. prolifera* obtenue au microscope.

2.5.3.5.3. Compétitions et interactions biologiques

Afin d'identifier l'avantage compétitif d'*Ulva prolifera* sur *Blidingia* sp. au niveau des radeaux d'aquaculture de *Pyropia* dans la région de Subei Shoal, Hao, Qu et al. (2020) ont évalué les caractéristiques physiologiques de ces deux espèces sur la période d'initiation du bloom saisonnier (en mars et mai). L'étude montre qu'entre mars et mai, *U. prolifera* accroît son pouvoir compétitif par rapport à *Blidingia* sp, en augmentant ses vitesses de croissance, son contenu en chlorophylle, son efficacité photosynthétique ainsi que son



activité anti-oxydante, tandis que cette activité diminue significativement chez *Blidingia* sp. Les auteurs estiment également que la morphologie d'*Ulva prolifera* lui permet d'avoir une meilleure flottabilité que *Blidingia* sp., ce qui pourrait lui permettre, une fois détachée des radeaux de culture, de se développer sous forme libre à la surface de l'eau (Figure 29).

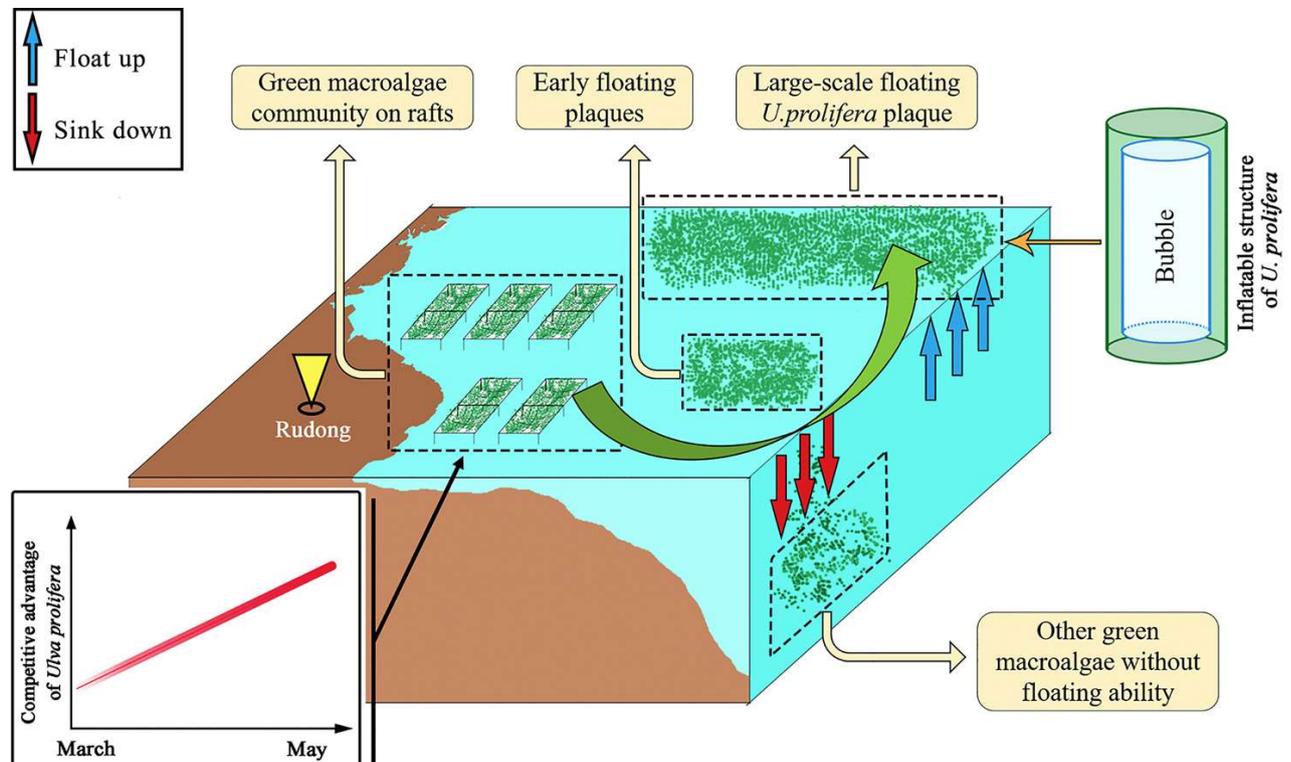


Figure 29. Schéma tiré de Hao, Qu et al. (2020) représentant la possible contribution des algues vertes *Ulva prolifera* fixées sur les radeaux de culture à la formation des marées vertes, en lien avec les caractéristiques physiologiques particulières de cette espèce en comparaison à celles de *Blidingia* sp.

Nakamura et al. (2020) se sont également intéressés aux phénomènes de compétition pouvant exister entre deux espèces d'ulves, *Ulva ohnoi* et *Ulva pertusa*, en étudiant leurs réponses physiologiques (vitesses de photosynthèse, respiration et de croissance) spécifiques à différents niveaux d'intensité lumineuse (0 - 1000 $\mu\text{mol} \cdot \text{photons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) et de température (de 5 à 35°C). Les résultats montrent qu'*U. ohnoi* possède de plus fortes vitesses photosynthétiques maximales qu'*U. pertusa* quelles que soient les conditions, ainsi que de plus fortes vitesses de croissance aux températures élevées. Les caractéristiques physiologiques d'*U. ohnoi* pourraient donc expliquer son succès écologique dans les eaux peu profondes par rapport à *U. pertusa*.

Les interactions entre *Ulva* sp. et les bactéries composant son microbiome ont fait l'objet d'une troisième étude en 2020 (Ghaderiardakani, Quartino et Wichard 2020). Cette étude a évalué la dépendance d'*Ulva* sp. à deux de ses bactéries en réponse à une variation de paramètres environnementaux (*i.e.* lumière, température, nutriments, micropolluants). Les résultats obtenus suggèrent que le microbiome d'*Ulva* sp. l'aide à s'adapter à un stress environnemental.



2.5.3.6. Facteurs limitants le développement des marées vertes

2.5.3.6.1. Facteurs environnementaux abiotiques

Jiang, Jianan et al. (2020) ont analysé les effets d'une température et d'une intensité lumineuse élevées (30°C et 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) sur les propriétés physiologiques et biochimiques d'*U. prolifera*. L'expérimentation en conditions contrôlées a montré que l'élévation de la température (de 20 à 30°C) réduisait significativement la croissance d'*U. prolifera*. En revanche, cette limitation de croissance à température élevée s'est considérablement atténuée lorsque les thalles étaient soumis à une forte intensité lumineuse.

2.5.3.6.2. Facteurs biologiques

En 2020, deux études se sont intéressées à l'impact des interactions allélopathiques sur la physiologie d'*U. prolifera*, dans le but d'identifier des composés pouvant être utilisés pour limiter le développement des marées vertes. La première étude a analysé l'effet de quatre composés naturels pouvant être relâchés dans le milieu par d'autres espèces algales (*i.e.* l'eugénol, le β -myrcène, l'acide nonanoïque et le citral) sur la croissance, le système anti-oxydatif et la photosynthèse d'*U. prolifera* (Li, Tong et Glibert 2020). L'étude montre que les quatre composés ont eu un effet négatif sur la croissance de l'algue, le β -myrcène étant le composé ayant eu le plus d'effet. Ce composé a aussi engendré une inhibition du système anti-oxydatif et photosynthétique d'*U. prolifera*, et de ses mécanismes de photoprotection. La deuxième étude a mis en évidence l'effet allélopathique induit par la bactérie *Bacillus cereus* (BE23) sur *Ulva prolifera* (Li, Naicheng et al. 2020). L'expérimentation montre en effet, qu'en présence de ces bactéries, la croissance d'*U. prolifera* est inhibée et une diminution de l'efficacité photosynthétique, des vitesses de transport d'électrons et des teneurs en chlorophylle *a* et *b* est observée. Le composé allélopathique responsable a été identifié comme étant le Cyclo-(L-Pro-L-Pro), un dérivé de dicétopipérazine.

L'interaction entre *U. prolifera* et trois espèces de micro-algues (*Skeletonema costatum*, *Prorocentrum donghaiense*, et *Nitzschia closterium*) dans la région de Subei Shoal a également été étudiée en 2020, pour comprendre la distribution verticale des espèces dans la colonne l'eau et identifier les éventuelles compétitions inter-espèces (Yang, Xue et al. 2020). La croissance des algues a été déterminée, en cultures mono- et multi-spécifiques, à différentes intensités lumineuses suivant le gradient *in situ* imposé par la profondeur de la colonne d'eau. L'étude montre qu'*U. prolifera* est adaptée à un plus grand intervalle d'intensités lumineuses que les trois micro-algues, qui occupent des profondeurs différentes (Figure 30). Yang, Xue et al. (2020) suggèrent que la distribution verticale des espèces dans la région de Subei Shoal est contrôlée, selon les différentes intensités lumineuses de la colonne d'eau, par les phénomènes de compétition sur la ressource en nutriments et les interactions allélopathiques.

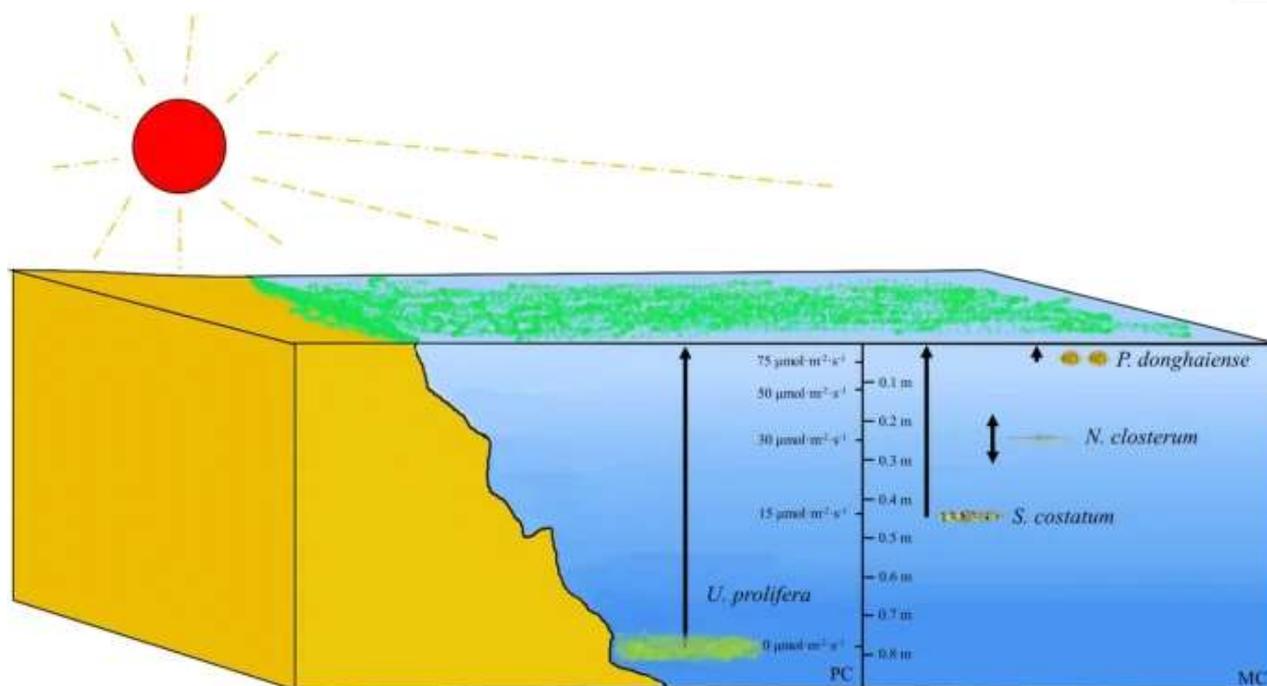


Figure 30. Schéma tiré de Yang, Xue et al. (2020) représentant la distribution verticale d'*Ulva prolifera* et de trois micro-algues dans la région de Subei Shoal.

2.5.3.6.3. Gestion des marées vertes et actions anthropiques

En Chine, le développement de l'algue verte *U. prolifera* sur les radeaux de culture de *Pyropia* induit une diminution de son rendement de production et de sa qualité, causant alors une perte économique considérable pour les producteurs. Liu, Xuehua et al. (2020) proposent une nouvelle méthode permettant d'éliminer les algues *U. prolifera* attachées aux structures de culture, et consistant à soumettre les algues à de l'acide citrique pendant 3h sous forte intensité lumineuse ($1200 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) puis à les immerger dans de l'eau de mer pendant 24h.

Une étude visant à évaluer le potentiel d'utilisation de l'argile pour inhiber la croissance d'*Ulva* spp. est parue dans la littérature en 2020 (Li, Jing et al. 2020). À partir d'une expérimentation en mésocosme menée dans la région de Subei Shoal, les auteurs démontrent que l'argile est capable de supprimer les micropropagules d'*Ulva* sp. dans la colonne d'eau et de diminuer significativement (> 75%) leur adhésion et leur germination sur les cordes de nylon utilisées en mariculture.

2.5.3.7. Valorisation des algues vertes

Sur la période ciblée, plusieurs reviews ont été publiées dans la littérature concernant le potentiel de valorisation des algues vertes dans des domaines divers, tels que l'énergie, l'agriculture, l'alimentation (humaine et animale), la biorémédiation et la santé (Cindana Mo'o et al. 2020; Lakshmi et al. 2020; Mantri et al. 2020; Renita et Kumar 2020). Deux de ces reviews se sont plus particulièrement focalisées sur les propriétés physico-chimiques et activités biologiques des ulvanes (Cindana Mo'o et al. 2020; Lakshmi et al. 2020), qui possèderaient un potentiel de valorisation dans le domaine de l'alimentation et du biomédical. En parallèle, seize études ciblant un domaine de valorisation particulier ont été répertoriées.



2.5.3.7.1. Alimentation humaine

En 2020, un protocole de transformation des polysaccharides des ulves en solvants furfurals, pouvant notamment être utilisés dans la production d'arômes alimentaires a été proposé par Zhou et al. (2020). Par ailleurs, à partir de la caractérisation de la composition en carbohydrates, protéines, et acides gras, minéraux et métaux lourds de différentes souches d'*Ulva lactuca*, Roleda et al. (2021) ont démontré que cette algue possédait un fort potentiel de valorisation pour l'alimentation humaine, de par sa haute valeur nutritionnelle (comparable à certains fruits, végétaux, noix ou graines) et ses faibles concentrations en métaux lourds ne posant pas de risques pour la santé humaine.

Moreira et al. (2020) se sont intéressés aux composés lipidiques (lipides totaux, acides gras estérifiés et des lipides polaires) d'*Ulva rigida* ; ces composés ayant une forte valeur commerciale notamment dans l'alimentaire. Ils ont évalué les variations saisonnières de la composition lipidique d'ulves cultivées au sein d'un système d'aquaculture multitrophique intégré, dans le but de sélectionner les périodes de collecte les plus propices.

2.5.3.7.2. Agriculture, Aquaculture et Agroalimentaire

Une étude, menée en Australie en 2020, a évalué le potentiel d'utilisation d'*Ulva lactuca* au sein d'un système d'aquaculture multitrophique intégré pour la culture de la crevette *Litopenaeus vannamei*, à la fois pour nourrir les crevettes et pour épurer l'eau de culture (Mangott et al. 2020). L'étude montre que l'utilisation d'*Ulva lactuca* dans ce système a permis de doubler les vitesses de croissance des crevettes, de favoriser la production de bactéries probiotiques et de diminuer le développement des pathogènes.

Une deuxième étude, portée par la Chine, a mis en évidence le potentiel d'utilisation d'*Ulva prolifera* (issus de déchets industriel ou des biomasses échouées *in situ*) comme milieu de culture pour des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (Yuan et al. 2021).

2.5.3.7.3. Cosmétiques/pharmaceutiques

Afin d'évaluer le potentiel de valorisation de *Pyropia yezoensis* et d'*Ulva* sp. dans le domaine de la santé, Kurakake, Itakura et Nakano (2021) ont caractérisé leur composition en caroténoïdes et composés phénoliques et estimés leurs activités anti-oxydantes, d'inhibition de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ACE, contrôle de la tension artérielle) et d'inhibition de l'activité de l' α -glucosidase et de la sucrase (contrôle du niveau de sucre dans le sang). Ils démontrent que les deux espèces ont peu d'effet d'inhibition sur l' α -glucosidase et de la sucrase, que *Pyropia yezoensis* possède une forte activité anti-oxydante et que l'ulve a une activité d'inhibition de l'ACE plus élevée que *Pyropia yezoensis*.

2.5.3.7.4. Energie / Bio-charbon

En 2020, trois reviews concernant le potentiel de production de biofuels à partir des macro-algues marines (dont les algues vertes) ont été recensées. Celles-ci traitent notamment de la nature et de la composition chimiques des bioproduits formés, des techniques de traitement de la biomasse algale ainsi que de la productivité et de la rentabilité des systèmes de production (Filote et al. 2020; Gao, Guang et al. 2020; Jerold, Arockiasamy et Sivasubramanian 2020). Une étude a plus particulièrement ciblé le potentiel d'*Ulva lactuca* pour produire du biofuel (Koçer et Özçimen 2021). À partir d'une caractérisation de leurs propriétés de combustion, l'étude montre que la combustion d'*Ulva lactuca* transformée sous forme de biocharbon demande moins d'énergie que la matière algale brute.

Deux études ont également mis en évidence le potentiel d'utilisation d'*Ulva* sp. pour la production de biohydrogène (Margareta et al. 2020) et de biocharbon magnétique à faible toxicité biologique (Wang, Yue et al. 2020) ; et proposent des protocoles optimisés.



2.5.3.7.5. Bio-indicateur

Rybak (2021) met en évidence le potentiel d'utilisation d'*U. pilifera* comme bio-indicateur du niveau trophique d'étangs en Pologne. Cette espèce aurait plusieurs avantages : 1) elle possède un thalle de grande taille qui peut atteindre une longueur supérieure à 1 m, 2) elle est facile à identifier, même pour les non-experts, 3) elle apparaît en masse en conditions eutrophisées, créant des blooms très repérables.

2.5.3.7.6. Bioremédiation

En plus d'une review générale sur les récentes techniques de biorémédiation d'une large variété d'effluents (Jerold, Arockiasamy et Sivasubramanian 2020), plusieurs études publiées en 2020 ont mis en évidence le potentiel d'utilisation des ulves pour épurer divers types d'eaux chargées en composés chimiques indésirables. El Gammal (2020) montre que cinq espèces d'ulves (*Ulva fasciata*, *U. intestinalis*, *U. flexusa*, *U. lactuca*, *U. Chaetomorhalinum*, *U. intestinalis*) responsables des marées vertes dans le Golf Arabe sont capables de réduire significativement les concentrations en azote des eaux usées issues de l'aquaculture. El-Nagger *et al.* (2020) démontrent les capacités de biosorption en métaux lourds d'*Ulva lactuca* pour épurer une solution binaire. Les propriétés phytoépuration d'*Ulva prolifera* ont également été mises en évidence pour l'épuration des effluents issus de la cokéfaction, chargés en métaux lourds et éléments nutritifs (Gu et Wang 2020). Enfin, Rosa *et al.* (2020) montrent que l'utilisation d'*Ulva* sp. dans un système d'aquaculture multitrophique intégré pour la culture de poissons permet de réduire les concentrations en antibiotiques (l'enrofloxacin) ajoutés au milieu.

Le potentiel d'utilisation des ulves pour contrôler les blooms de micro-algues nuisibles au Japon a également été mis en évidence par Inaba *et al.* (2020). L'étude démontre en effet que les bactéries composant le biofilm d'*U. pertusa* étaient capables de limiter la croissance de cinq espèces de micro-algues nuisibles (*Alexandrium catenella*, *Chattonella antiqua*, *Heterosigma akashiwo*, *Heterocapsa circularisquama*, *Karenia mikimotoi*).

2.5.3.7.7. Valorisation d'autres macroalgues que les algues vertes

Deux reviews sont parues en 2021 concernant le potentiel et les limites des voies de valorisation des sargasses, qui s'échouent massivement chaque année sur les côtes caribéennes, américaines et africaines (Amador-Castro *et al.* 2021; Saldarriaga-Hernandez *et al.* 2020). Amador-Castro *et al.* (2021) mettent en évidence le potentiel de la bioraffinerie pour valoriser cette algue tandis que Saldarriaga-Hernandez *et al.* (2020) mettent l'accent sur le domaine de la biorémédiation ; même si un effort de développement est encore nécessaire dans les deux cas. Dans cette optique d'identification des voies de valorisation des sargasses, une troisième étude (Davis *et al.* 2021) a analysé la composition biochimique et élémentaire (métaux, composés phénoliques, polysaccharides, mannitol, alginate) de plusieurs espèces/morphotypes responsables des marées brunes en Atlantique (*Sargassum fluitans* et deux morphotypes de *Sargassum natans*). Les auteurs mettent en évidence que, même si la composition de certains composés varie d'une espèce à l'autre, l'ensemble des individus analysés est caractérisé par de fortes concentrations en arsenic ainsi que par un faible rendement d'extraction en alginates en comparaison à ceux actuellement obtenus dans l'industrie pour d'autres algues brunes. De fait, les auteurs écartent la possibilité de valoriser les sargasses dans le domaine de l'alimentaire ainsi que pour la production industrielle d'alginates.

En 2020, une étude a réalisé la caractérisation des profils et activités biologiques des acides gras issus d'algues rouges (*Gracilaria gracilis*, *Palmaria palmata* et *Porphyra dioica*), brunes (*Fucus vesiculosus*) et vertes (*Ulva rigida* et *Codium tomentosum*) cultivées au sein d'un système d'aquaculture multitrophique intégré (Lopes *et al.* 2020). Les résultats mettent en évidence le potentiel de valorisation de ces macroalgues dans le domaine de l'alimentaire et de la santé.



2.5.3.8. Caractérisation des algues vertes

2.5.3.8.1. Génétique et Biomoléculaire

La complexité d'identification taxonomique des ulves en lame à partir de critères morphologiques a motivé deux études en 2020, visant à étudier la diversité génétique de souches d'ulves à thalles distromatiques foliaires originaires du littoral Atlantique Nord-Est (Irlande, Bretagne, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Espagne). À partir de l'analyse de 295 souches *via* la technique du barcoding, la première étude a permis de mettre en évidence sept espèces d'ulves distinctes (*U. australis*, *U. fenestrata*, *U. gigantea*, *U. laetevirens*, *U. ohnoi*, *U. pseudorotundata*, , *U. rigida*), et qu'un certain nombre de souches ne pouvait être identifié à partir de la banque de données mondiale NCBI (Fort, McHale, Cascella, Kevin et al. Elisabete da Costa et al. 2020). La deuxième étude a séquencé le génome cytoplasmique (chloroplastes et mitochondries) de 110 souches d'ulves en lame, ce qui a permis de distinguer 6 espèces avec une forte diversité génétique inter-spécifique (*U. rigida*, *U. laetevirens*, *U. gigantea*, *U. australis*, *U. pseudorotundata* et *U. fenestrata*) et de mettre en évidence une diversité génétique intra-spécifique relativement faible (Fort, McHale, Cascella et al. 2020). Une identification moléculaire d'*U. prolifera* a également été réalisée en Indonésie au moyen de la technique du barcoding en utilisant le marqueur nucléaire *rbcl* (Kepel, Mantiri et Sahami 2020).

Sauriau et al. (2021) ont également utilisé l'outil moléculaire pour différencier les populations introduites d'*U. australis* sur la côte Atlantique Française. Ils montrent que la présence de cette espèce résulterait d'introductions d'origines multiples ; les transferts d'huîtres historiques réalisés du Japon en Colombie Britannique n'expliquant que partiellement les tendances génétiques mises en évidence.

En 2020, quatre études se sont intéressées à identifier les gènes impliqués dans le métabolisme d'*Ulva prolifera* et *Ulva linza* (tels que les processus d'absorption en composés azotés, phosphorés et carbonés (Fan et al. 2020; Wang, Yu et al. 2020), de production de caroténoïdes (He, Ye et Shen 2020) ou encore d'accumulation en triglycérides (Zhang, Xiaowen et al. 2020) et à étudier leur réponse à un stress thermique, nutritif, lumineux, de pH et de salinité. Deux autres études ont caractérisé des gènes pouvant jouer un rôle dans les mécanismes moléculaires permettant aux ulves d'être tolérantes à de fortes variations de salinité, de température et de concentration en azote (Xing et al. 2020; Yang, Yu et Shen 2020).

Enfin, six études ont publié des résultats de séquençage du génome des chloroplastes ou des mitochondries des espèces d'ulves responsables des marées vertes en Chine, aux Etats-Unis et au Japon (Tableau 1).

2.5.3.8.2. Composition

Une review a été publiée en 2020 concernant la composition en caroténoïdes d'*Ulva* spp., leur réponse aux facteurs environnementaux, et les méthodes utilisées pour isoler et extraire ces composés (Eismann et al. 2020). Cette étude démontre que la quantité de caroténoïdes est positivement corrélée à la croissance des ulves, et que l'application de certains facteurs abiotiques (*i.e.* intensité lumineuse, concentration en nutriments, température, salinité) permet d'augmenter le contenu tissulaire en caroténoïdes des ulves.

2.5.3.8.3. Cycles de vie

Mantri et al. (2020) ont publié une review très complète sur le cycle de vie, l'écologie et la biologie des algues vertes du genre *Ulva* sp.



Tableau 1. Synthèse des six études ayant séquencé le génome cytoplasmique d'*Ulva* sp. en 2020.

Auteurs	Zone géographique	Espèce d'algue	Objet	Principaux résultats
Han, Yan et al. (2020)	Chine	<i>Ulva pertusa</i>	Séquençage du génome des chloroplastes	Le génome comprend 104,380 paires de base, incluant 71 gènes codant pour des protéines, 26 tARN et 2 rARN. L'analyse phylogénétique indique qu' <i>U. pertusa</i> apparaît génétiquement le plus proche de l'espèce <i>U. fasciata</i> .
Kang et al. (2020)	Chine	<i>Ulva meridionalis</i>	Séquençage du génome des mitochondries	Le génome a une taille de 62,887 paires de base, dont 28 gènes codants et 29 gènes tARN. L'analyse phylogénétique indique qu' <i>U. meridionalis</i> est génétiquement proche d' <i>Ulva flexuosa</i> .
Liu, Feng et al. (2020)	Chine, Etats-Unis	<i>Ulva compressa</i> (trois morphotypes)	Séquençage du génome des mitochondries	L'étude présente le premier cas de variations intraspecifics multiples au sein des mitogénomes des <i>Ulvophyceae</i> , et indique que le mitogénome serait un outil potentiel pour comprendre l'origine d'espèces cosmopolitaines du genre <i>Ulva</i> .
Liu, Jinlin et al. (2020)	Chine, Japon	<i>Ulva meridionalis</i>	Séquençage du génome des chloroplastes	Le génome a une taille de 88,653 paires de base. Il code pour 113 gènes, incluant 80 gènes codant des protéines, 27 gènes tARN et 6 gènes ARN ribosomiques. L'analyse phylogénétique montre qu' <i>U. meridionalis</i> est génétiquement le plus proche d' <i>Ulva linza</i> .
Liu, Manman et al. (2020)	Chine	<i>Ulva lactuca</i>	Séquençage du génome des mitochondries	Le mitogénome d'individus d' <i>U. lactuca</i> prélevés en Chine a pour taille 62,021 paires de base, soit 407 bases plus long que celui trouvé aux Etats-Unis. Les différences de séquences sont probablement induites par des mutations de duplication ou d'insertion/suppression de courtes séquences d'ADN. L'analyse phylogénétique révèle que les trois échantillons d' <i>U. lactuca</i> forment un groupe monophylétique robuste.
Mitsuhashi, Teramura et Shimada (2020)	Japon	<i>Ulva pertusa</i>	Séquençage du génome des chloroplastes	Deux polymorphismes structurels au sein du génome des chloroplastes d' <i>Ulva pertusa</i> ont été détectés. Cette espèce a été classifiée dans des groupes monophylétiques d' <i>U. lactuca</i> et d' <i>U. ohnoi</i> , suggérant une évolution divergente d' <i>U. pertusa</i> par rapport à ces espèces.



3. CONCLUSION – PERSPECTIVES

L'action d'expertise, d'information et de soutien aux collectivités dans la lutte contre les marées vertes s'est poursuivie sur un rythme soutenu en 2020 en particulier pour répondre aux SAGEs, aux acteurs du PLAV plus particulièrement dans le cadre de la mise en place du PLAV2 mais aussi des socio professionnels et du grand public (via les médias) et du milieu éducatif. En particulier cette année, les demandes ont été très nombreuses de la part des médias. Notamment du fait de nombreuses questions sur la précocité relevée par les associations sur les proliférations des vasières en Sud Bretagne. La mise en place de l'évaluation environnementale conduite par la Cour des Comptes sur la politique environnementale « Algues vertes » a demandé également plusieurs rencontres et de nombreux échanges de données en cours d'année. En 2020, le CEVA est intervenu à de nombreuses reprises sur la thématique du ramassage innovant la valorisation des algues ou du H₂S mais aussi sur les problématiques de pollutions H₂S.

Une part importante de ce programme est dédiée à la première analyse « en temps réel » des proliférations de l'année en cours et la mise à disposition des acteurs impliqués dans les programmes de reconquête « algues vertes » de ces informations. En 2020, en plus de ces actions, le CEVA a réalisé une évaluation des stocks de reconduction d'ulves pour consolider la perception de la précocité attendue des proliférations.

Les flux, ont été en 2020 globalement excédentaires par rapport à la situation moyenne (+ 41 % par rapport à 2010-2019 et +25 % par rapport à 2002-2019). Cet excédent annuel est principalement lié aux très forts excédents des mois de novembre et décembre (+ 300 et + 130 % de flux) en lien avec des pluviosités très excédentaires (60 à 125 % de pluie en plus que la normale sur les mois d'octobre et novembre 2019 sur chaque station météo suivie). La très faible pluviosité à partir du 15 mars a entraîné ensuite une forte diminution des flux mensuels, déficitaires sur avril et mai puis excédentaires en juin. Ce niveau moyen régional est en réalité assez disparate sur cette période avec des flux sur juin qui ont été très élevés sur l'est des Côtes d'Armor (+ 172 % sur la baie de la Fresnaye, + 15 % sur la baie de Saint Briec dont 30 % sur le Gouessant), relativement élevés sur le centre et l'ouest des Côtes d'Armor (+ 26 % Binic et 36 % Yar) mais « moyens » voire modérés sur le nord Finistère (-2 % sur le Douron, - 11 % sur le Quillimadec, autour de - 20 % sur la baie de Douarnenez et le Lesnevard ; mais + 11 % pour l'Horn et le Guillec qui font figure d'exception). Il est à noter que ces situations d'orages violents, entraînant des excès pluviométriques très forts, se retrouvent tous les ans depuis 2016 en juin ou parfois fin mai.

Les 5 dernières années auront donc présenté des profils « très défavorables » avec des pluies très soutenues en juin, période durant laquelle les ulves sont potentiellement limitées par l'azote et donc sensibles à ces apports excédentaires (refertilisation importante à une période clé). En 2020, les concentrations en nitrates sont, sur la majorité des cours d'eau en hausse sensible par rapport à 2019 qui était une année qui avait montré une diminution marquée par rapport à 2018.



Ce programme 2020 a également permis d'analyser la reconduction attendue sur 2020-2021. Les données recueillies ont permis d'annoncer une prolifération 2021 avec un démarrage différé selon les secteurs, à savoir un démarrage très précoce en baie de Saint Brieuc et retardé sur les autres sites.

Le volet « Veille » a permis, encore en 2020, de répertorier les publications (de Rang A) nationales et internationales sur les phénomènes de proliférations algales liés à des conditions d'eutrophisations des eaux marines côtières. Cette veille a pour objectifs d'identifier i) les dernières avancées sur la connaissance des proliférations et ii) les moyens mis en œuvre pour la reconquête de la qualité de l'eau.



ANNEXES



Annexe 1

(principales interventions de mars 2020 à mars 2021)

Principales interventions du CEVA dans le cadre de la mission « expertise, information et conseil technologique en faveur des programmes de maîtrise des marées vertes de Bretagne ».
(15/03/2020 au 15/03/2021)

Appui aux collectivités sur les marées vertes et moyens de lutte

- 19 03 2020 : à la demande du Syndicat Mixte de l'Horn : rédaction du bilan de la prolifération sur l'anse du Dossen et contexte régional 2019.
- 16 04 2020 : OEB : mise au point/correction des fiches-indicateurs pour le suivi des baies PLAV
- 07 05 2020 : information MIRE sur les indicateurs de ramassage collectés par le CEVA et différences avec données des préfectures et surfaces par site.
- 13 05 2020 : information du syndicat de l'Horn au sujet des objectifs à atteindre dans l'anse du Dossen et possibilité techniques de réalisation de modélisation écologique.
- 15 05 2020 : réponse à la demande de la Cour des Comptes d'actualisation des données de surfaces et précisions sur ces données.
- 19 05 2020 : réunion baies PLAV + Clé organisée par CRB : présentation point situation AV et prévision saisonnière.
- 26 05 2020 : Comité stratégique de la baie de Saint Brieuc convoqué par la préfecture des Côtes d'Armor.
- 08 06 2020 : situation AV sur les vasières du territoire LTC (Lannion Trégor) et G3A (Guingamp-Paimpol) : Paimpol, Lédano/Trieux, Jaudy. Diagnostic et fourniture des informations maillées.
- 12 06 2020 : réunion de crise Préfecture Morbihan + CRB / situation AV sur le littoral 56, possibilité de ramassage, danger...
- 15 06 2020 : mairie Sarzeau : situation de leur littoral et de la dangerosité des échouages et putréfaction AV et AR.
- 16 06 2020 : production d'une note de synthèse sur la situation AV du littoral 56 sur sites sableux et vasières à la demande du Préfet et des services.
- 25 06 2020 : fourniture diagnostic AV pour profil vulnérabilité de Bréhec.
- 01 07 2020 : Rennes/visio Paris : Comité évaluation de la Cour des Comptes sur la politique environnementale AV en Bretagne.
- 07 07 2020 : CAR à Quimper : appui des préfectures sur les av et dangerosité et notamment informations issues du rapport IZAR
- 16 07 2020 : Morlaix communauté : demande d'information sur le Moulin de la Rive pour étude par modélisation de ce secteur et lien potentiel avec anse de Locquirec.
- 17 07 2020 : Sage du Bas Léon : information AV pour établissement du tableau de bord du SAGE
- 28 07 2020 : SMRE + Sage Golfe Ria Etel : situation AV ? Indicateur, extension actions AV sur la thématique des vasières ? Pertinence, objectifs à atteindre ?? actions à envisager...
- 17 08 2020 : demande de la commune de Richardais d'informations sur les dangers liés aux putréfactions sur vasière en lien avec plainte de riverains de l'anse des Grandes Rivières. Mesure sur place quelques jours plus tard, suite au survol.
- 20 08 2020 : demande du SAGE Golfe du Morbihan Ria d'Etel d'analyse des flux 2015 considérés pour la modélisation des objectifs et comment ceux-ci ont été calculés.
- 11 09 2020 : Saint Brieuc : réunion acteurs de la baie de Saint Brieuc et présentation connaissance AV et modélisations couplée INRAE-SCHEME/CEVA.
- 15 09 2020 : réunion pilotage étude « Moulin de la Rive » : quels info AV et Flux pour aborder la modélisation...
- 02 10 2020 : Sage Golfe Ria Etel : échanges sur les flux et données prises en compte pour leur évaluation + conséquences modélisation
- 06 10 2020 : DDTM Saint Brieuc + ARS : réunion de travail « groupe ouverture/fermeture des plages » et aide à la décision des communes.
- 15 10 2020 : note sur l'évolution des proliférations sur les sites sableux et vasière pour la Cour de Comptes dans le cadre de leur évaluation de la politique publique Algues vertes...
- 22 10 2020 : Rennes, réunion du groupe d'appui scientifique au PLAV
- 28 10 2020 : avec SAGE Baie de Saint Brieuc : analyse des flux N à la baie pour la CLE et relation MV

- 30 10 2020 : diagnostic mis à jour de la situation de l'anse de Guissény et relation avec les flux du Quilimadec.
- 06 11 2020 : Rennes : comité d'évaluation de la Cour des Comptes / politique publique de lutte contre les algues vertes en Bretagne.
- 17 11 2020 : Lesneven : comité de pilotage baie de Guissény : présentation algues vertes en 2020.
- 18 11 2020 : groupe d'appui scientifique au PLAV
- 24 11 2020 : demande de bilan AV sur le territoire départemental pour « Observatoire de l'Eau du Morbihan ». Synthèse de la situation sur les années 2010-2018.
- 30 11 2020 : CLE de la baie de Douarnenez : point connaissances sur les proliférations AV sur la baie et Bretagne. Reprise information sur les phénomènes pour les nouveaux élus et études antérieures menées.
- 08 12 2020 : Production carte actualisée pour la Cour des Comptes sur le littoral « baie de somme Oléron ». Puis pm, comité d'évaluation de la Cour des Comptes sur la politique environnementale AV en Bretagne.
- 12 01 2021 : Pour SAGE baie de Douarnenez : fourniture données de surfaces couverte et éléments pour le calcul des EQR ; application au cas de la baie.
- 13 01 2021 : Pour Syndicat Ria d'Etel et SAGE : fourniture des données de max de surfaces couvertes actualisées jusqu'à 2019 pour évaluation des évolutions et impact sur les EQR.
- 13 01 2021 : pour SAGE baie de Saint Briec : éléments sur les ramassages et interpellations du SAGE et des collectivités par les associations qui contestent les ramassages et gestion des algues (épandage, sécurité des opérateurs...).
- 14 01 2021 : pour la DREAL : données sur les zones putréfiantes (IZAR) pertinentes à intégrer dans le dataviz pour accessibilité au public ; format des données...
- 18 01 2021 : pour DREAL : données sur les indicateurs DCE à actualiser puis transmission des données.
- 22 01 2021 : SAGE Golfe Ria Etel : échanges et réponses sur les éléments pris en compte pour les calculs des flux arrivant dans le golfe.
- 22 01 2021 : SAGE baie de Douarnenez : reprise éléments de calcul EQR et analyse des différences avec les valeurs calculées par la structure.
- 27 01 2021 : Pour SAGE / Parc naturel baie de Beausais (D. Melec) : information sur la thématique AV sur le secteur et diminution ulves au profil Pylaïella et significations.
- 28 01 2021 : réunion Région + baies bretonnes concernées par le PLAV : présentation situation AV bilan 2020 et éléments de prévision sur 2021. Echanges sur les travaux de la cour de comptes et premières sorties.
- 03 02 2021 : fourniture données à l'ORS Bretagne : situation sur Lorient, vasières et site sableux de Larmor Plage pour article sur les proliférations dans le Tableau de Bord Santé Environnement (TBSE).
- 03 02 2021 : pour SAGE de la Baie de Saint Briec (CLE), reprise des calculs des flux apportés à la baie pour le tableau de bord du SAGE suite à la consolidation des données de débit de l'Urne et du Gouessant.
- 05 02 2021 : Hillion : CLE de la baie de Saint Briec : présentation aux nouveaux élus des mécanismes, facteurs de contrôle, cas particulier de la baie....
- 10 02 2021 : Sage Golfe du Morbihan Ria d'Etel : note sur les calculs EQR du Golfe du Morbihan et de la Ria d'Etel, poids des métriques et de la note finale entre les 2 métriques.
- 12 02 2021 : à la demande de la Cour de Comptes, actualisation des données pour inclure les valeurs 2020 sur les sites bretons en suivi renforcé.
- 16 02 2021 : Commission AV du SAGE de la baie de la Forêt : situation AV et programme d'action.
- 18 02 2021 : à la demande du SAGE Sud Cornouailles : point sur les note EQR algues opportunistes de la ME de la baie de la Forêt (FRGC29) et travaux de modélisation.
- 08 et 15 03 2021 : Eau du Ter : information sur les proliférations sur les vasières de la rade de Lorient et impact potentiel de la suppression des vannes entre les étangs amonts. Analyse des photos IGN historiques qui montrent des proliférations présentes en 1970 voire 1955 (mais interprétation sur photo noir et blanc à prendre avec précautions).
- 09 03 2021 : pour BV du Quilimadec : fourniture photos de la baie et de l'étang du Pont pour analyse des éventuels blooms de phytoplanctons.
- 15 03 2021 : Comité d'évaluation de la Cour des Comptes au sujet de la politique publique de lutte contre les algues vertes.

Autres réunions et rencontres techniques

- 16 03 2020 : à la demande du Service de l'eau du CRB et Mire, échanges avec merl consulting (Brian Mitchell) au sujet des outils de ramassage des algues vertes, notamment solution déployée par les Turques par bateaux et spécificité du phénomène en Bretagne.
- 03 04 2020 : étudiants marseillais (licence) / concours IGEM et valorisation éthanol ou méthane des algues vertes.
- 06 04 2020 : Ifremer : demande d'information pour démarrage d'une thèse sur les populations de virus qui colonisent les ulves au cours de la saison. Info pour choix de site pertinent pour faire un suivi sur 2 ans.
- 12 05 2020 : information du Lemar en partenariat avec la Réserve de la baie de Saint Briec au sujet des proliférations d'algues vertes en baie de Saint Briec et impacts sur la chaîne trophique de la baie. Traitement de données de taux de couverture (par anse de la baie) et fourniture des données correspondant aux besoins du Lemar.
- 26 05 2020 : réunion Viralga (Patrick Rambeau et E. Loret) : projet d'utilisation de virus méditerranéen pour contrôler les MV bretonnes + valorisation des ulves comme matière première.
- 02 06 2020 : Merl Consulting : projet de ramassage des algues vertes par pompage.
- 23 07 2020 : en appui à la MIRE, rencontre de la société Efinor, chantier naval disposant de barges de dépollution probablement adaptables pour le ramassage des AV en vasière ou rideau. Visite chantier et possibilité d'essai de ramassage.
- 07 09 2020 : réunion INRAE Schème sur modélisations AV et pratiques agricoles. Analyse des données de suivi et relation AV et flux N + hiver.
- 21 09 2020 : information MIRE sur relation ou pas entre les surfaces d'échouage mesurées par le CEVA et les volumes de ramassage cumulés en Bretagne. Détermination des biais liés à ces données.
- 05 10 2020 : Ifremer (Célia Ouedraogo) : fourniture données et explication pour évaluation du calcul de l'indicateur DCE Bloom opportuniste et vérification adéquation avec résultats publiés CEVA.
- 04 11 2020 : réunion Direccte Bretagne : prévention des risques liés au H2S pour les ramasseurs d'AV et utilisateurs du milieu, mise à jour du « guide des bonnes pratiques »
- 17 11 2020 : réunion avec Rémi Dupas (INRAE) pour contribution au projet d'analyse des liens historiques entre qualité de l'eau en proliférations AV
- 04 12 2020 : réponse aux élus de la baie de la Forêt / signification de la présence massive de Solieria sur les plages de la baie « à la place des ulves » habituellement observées. Pertinence du ramassage, risques sanitaires de ces algues à cette saison.
- 08 12 2020 : société H2X + SDE22 / valorisation barrage Pont Rolland pour production électrique/H2 et utilisation de l'O2 pour améliorer la qualité du milieu (lacustre, estuarien...) et limiter les émanations H2S.
- 21 01 2021 : dans le cadre de sa thèse (UBS), échange avec Sauvann Paulino Le Deun sur lieu potentiellement à suivre pour analyser les communautés bactériennes associées aux ulves, si possible ne site sableux et si possible dans le sud Bretagne.
- 12 02 2021 : échanges avec société « Defrenne underwater » qui propose des solutions (?) de dragage, hachage, enfouissement des AV à l'aide de turbines.
- 18 02 2021 : SAS MERL-CONSULTING : échanges sur possibilité d'utilisation de solution contre les algues vertes à base de barrages flottants.
- 12 03 2021 : Dr Arjan Gosal, School of Geography, Faculty of Environment, University of Leeds et Iwan Le Clec'h : données disponible pour évaluer l'importance des proliférations par date afin de les mettre en relation avec les images postées sur les réseaux sociaux et donc la fréquentation des plages. Difficultés que posent de telles approches...

Information sur les Marées vertes et les moyens de lutte

- 24 03 2020 : Observatoire de l'Environnement de Bretagne : trituration puis export des données surfaciques sur tous les sites bretons pour intégration dans le « dataviz » algues vertes. Tableau de Bord Interactif des proliférations.

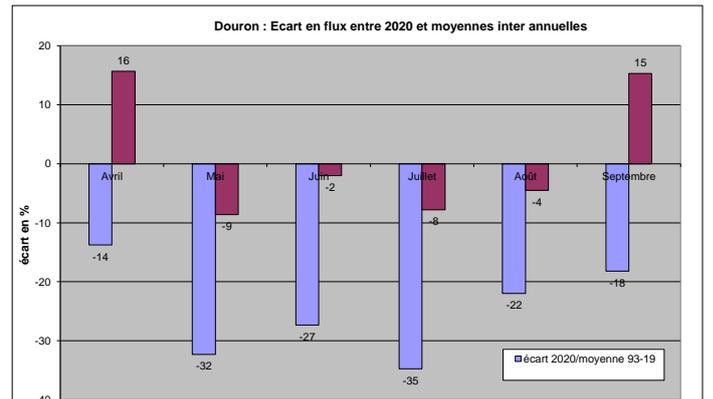
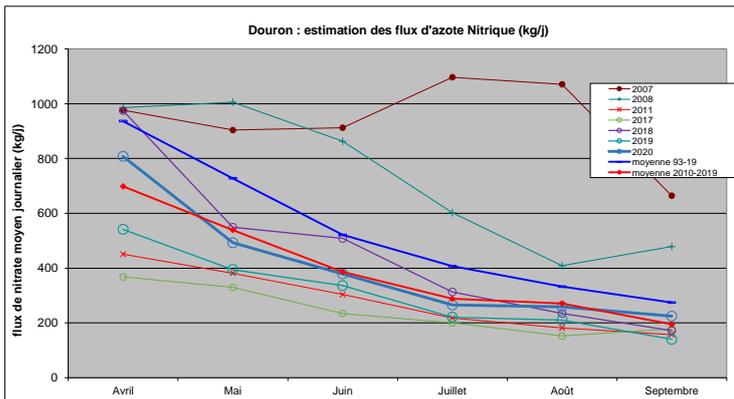
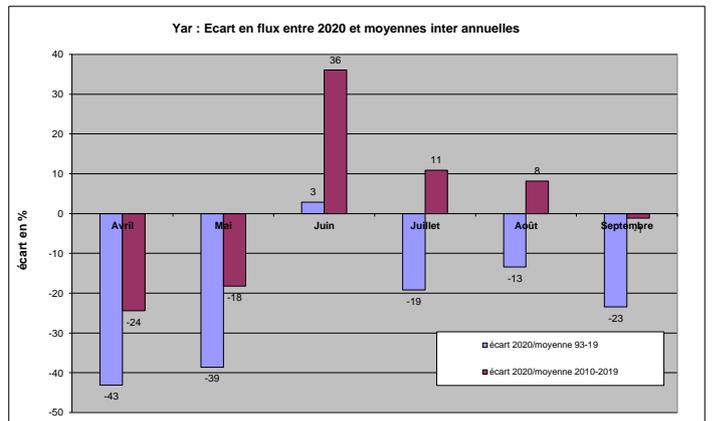
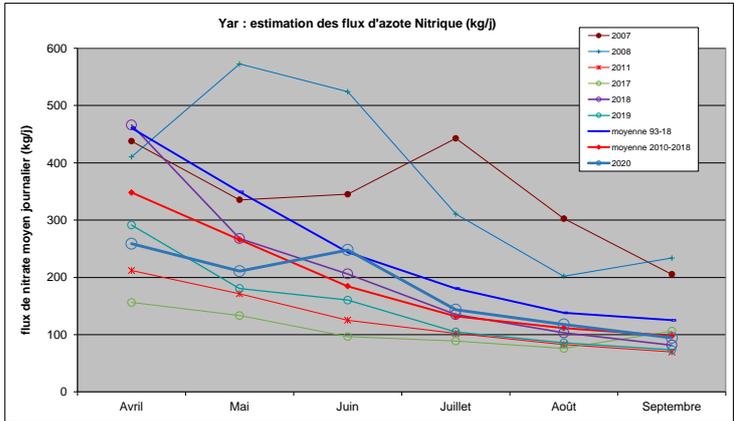
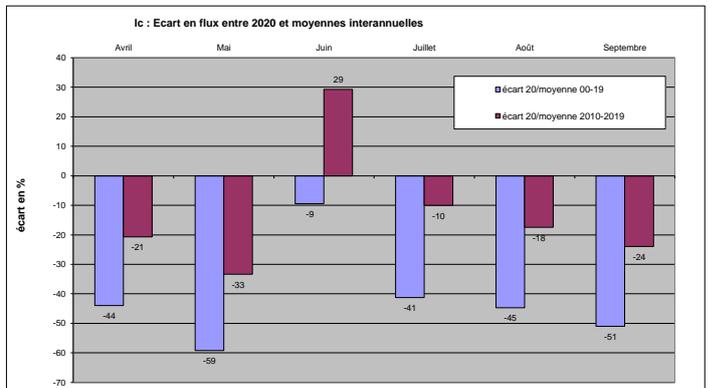
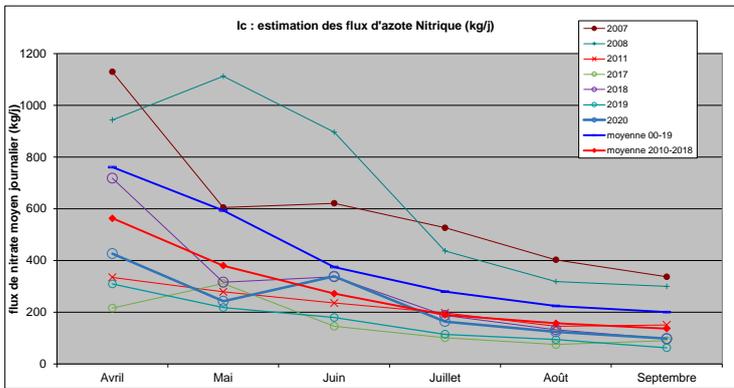
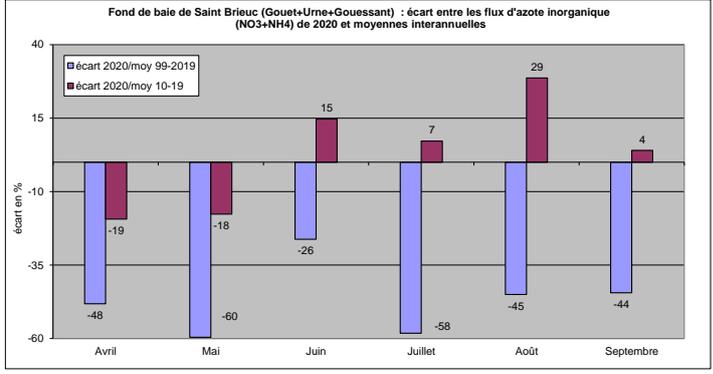
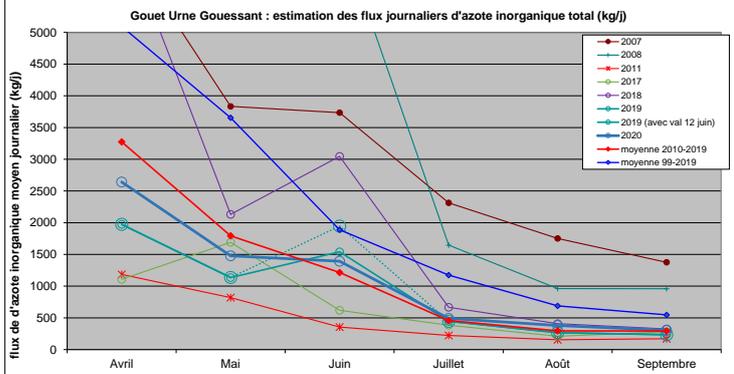
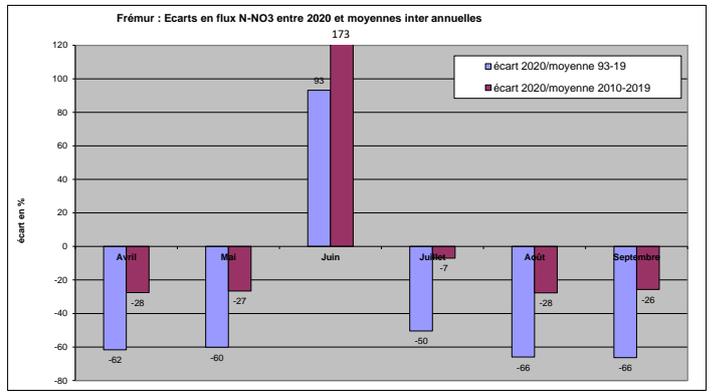
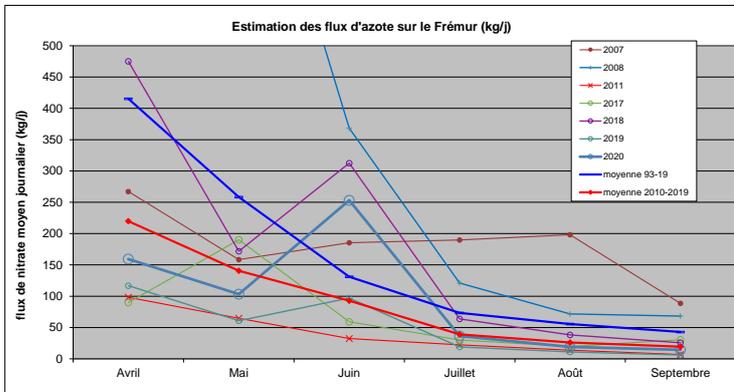
- 26 03 2020 : équipe d'étudiants marseillais (licence des sciences de la vie à Marseille) dans le cadre de la compétition internationale iGEM (concours de biologie synthétique qui vise à trouver des solutions à des problèmes sociétaux par le biais de la biologie synthétique). Volonté de travailler sur la valorisation des algues. Contraintes, atouts....
- 01 04 2020 : OEB (E. Savelli + E. Bardon) : dossier de vulgarisation AV + datviz AV + indicateurs ramassage
- 16 04 2020 : interview Ouest France sur situation AV en Bretagne
- 28 04 2020 : interview France Bleu Breizh Izel
- 30 05 2020 : Commission algues vertes de l'association Eau et Rivières de Bretagne : point de situation AV, outils de suivis, perspectives, classement DCE....
- 02 06 2020 : information Chambre Agriculture de la situation AV en Bretagne et plus particulièrement en baie de Saint Brieuc.
- 02 06 2020 : interview TBO : situation démarrage très tardif AV en Bretagne et surtout nord et évolutions prévisionnelles...
- 09 06 2020 : Interview Ouest France : situation AV sur le littoral de Lorient et vasières Morbihan
- 11 06 2020 : France 3 sur situation AV côte Nord et côtes Sud morbihannaises.
- 12 06 2020 : interview RCF Sud / av sur Morbihan
- 13 06 2020 : interview TBO sud Bretagne sur la situation AV sur le littoral morbihannais.
- 16 06 2020 : interview radio Bro Gwened : situation AV dans le Morbihan
- 17 06 2020 : interview TF1 sur la vasière Lézardrieux au sujet des proliférations observées sur les vasières (surtout du Morbihan).
- 19 06 2020 : interview France Bleu Armorique
- 25 06 2020 : interview Ouest France sur situation AV sur Finistère nord.
- 02 07 2020 : Association « de la Source à la Mer » : information situation AV à Binic =, baie de Saint Brieuc et Bretagne
- 27 08 2020 : info AV pour OEB : actualisation situation de l'année pour mise en ligne sur le site.
- 01 09 2020 : Canard Enchaîné : demande d'info sur situation AV car entendu qu'un « bilan » avait été fait. Fourniture de quelques éléments de « pédagogie »
- 02 09 2020 : interview de Ouest France Lamballe sur situation AV et explications particularité de l'année 2020.
- 07 09 2020 : interview « Le Trégor » sur situation AV locale et régionale.
- 09 09 2020 : Interview « la terre au carré » de France Inter (Antoine Li) : reportage sur AV sur la baie de Saint Michel en Grève, suivis, actions....
- 14 09 2020 : interview AFP, OF, France Bleu, France 3 / suivis AV et perspectives saison
- 15 09 2020 : Interview France Bleu Armorique, LE Télégramme, RCF
- 07 10 2020 : réunion INRAE (Rémy Dupas) : information sur les données disponibles historiques et plus récentes sur les AV pour travail de post doc sur les relations entre évolutions des paramètres N et P et MV.
- 08 10 2020 : France 3 Bretagne : point situation AV et perspectives évolutions.
- 14 10 2020 : Rédaction synthèse de la situation sur la baie de Binic 2020 et comparaison avec situation Baie de Saint Brieuc et Bretagne pour bulletin de l'association « de la source à la mer ».
- 28 10 2020 : étudiant de Master 2 Sciences de la Mer à Boulogne sur Mer : Montage d'un SIG sur les marées vertes en Bretagne et impacts économiques.... Données disponibles, significations des données,...
- 09 11 2020 : réponse à Ouest France + France 3 sur la situation de Cap Coz : gros échouages d'algues rouges (*Solieria chordalis*) et signification /absence d'ulves Et impacts sanitaires...
- 13 11 2020 : projet d'étudiants (prépa BCPS'I) sur l'eutrophisation et cas particulier des AV.
- 20 11 2020 : interview France Agricole sur situation AV et actions de lutte.
- 01 12 2020 : « Le Parisien » : info sur la situation de bilan AV.
- 04 12 2020 : réponse à demande riverains de Tresmeur sur l'impact de la putréfaction d'algues et de sédiment.
- 13 01 2021 : réponse étudiant prépa biologie au Lycée Saint Louis / TIPE sur les AV et eutrophisation : facteur de contrôle N/P, actions efficaces, actions mises en place, ...
- 20 01 2021 : pour LTC (Lannion Trégor Communauté) : article sur les proliférations d'algues vertes, leur suivi, évolution, lien au ramassage....

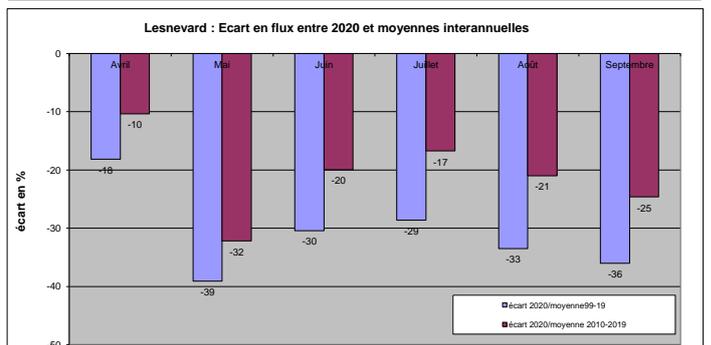
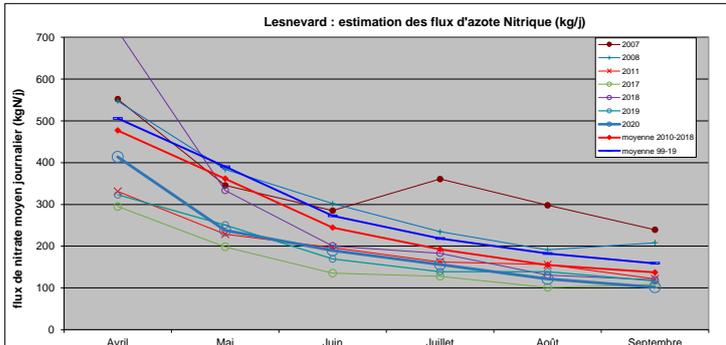
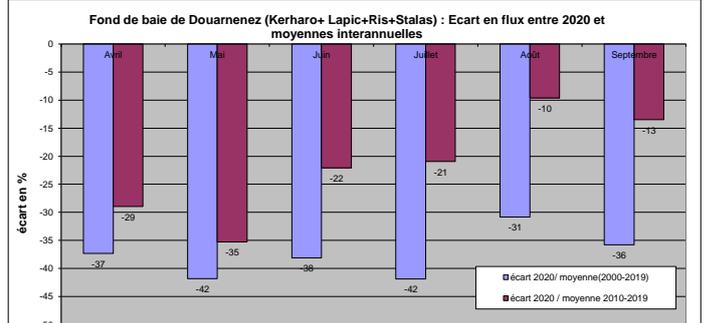
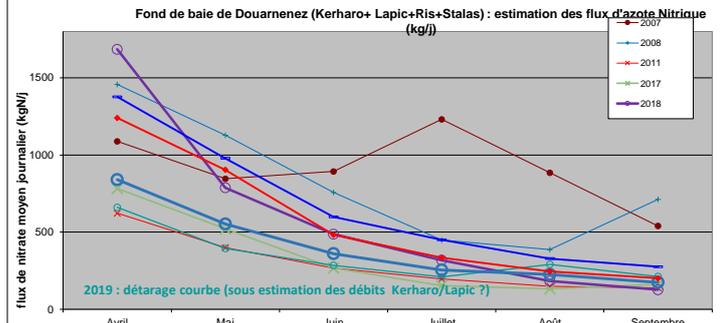
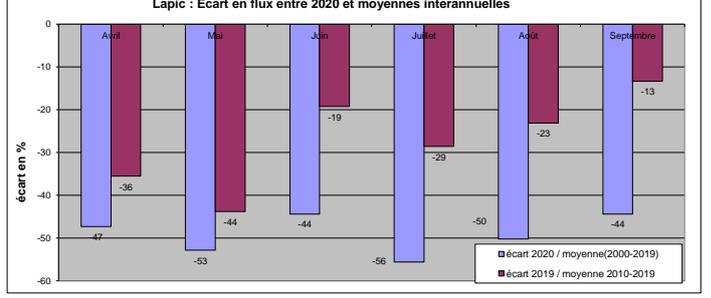
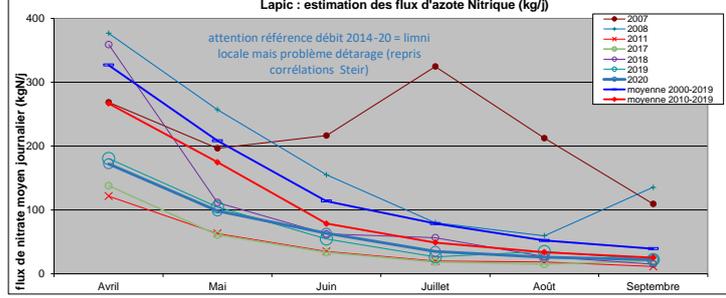
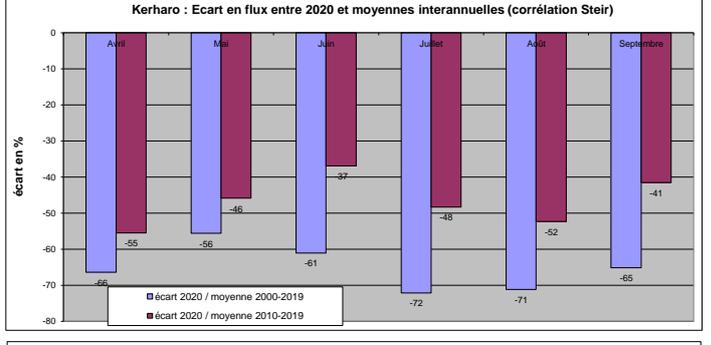
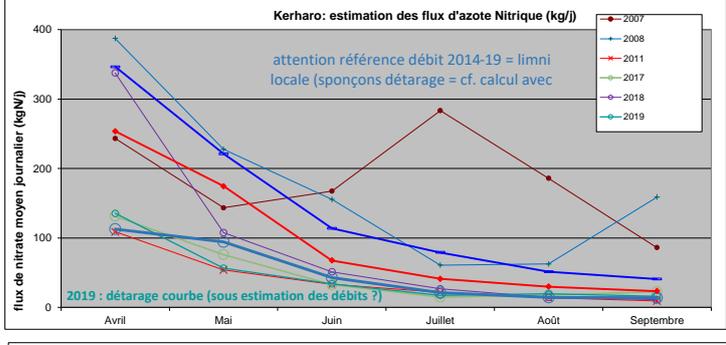
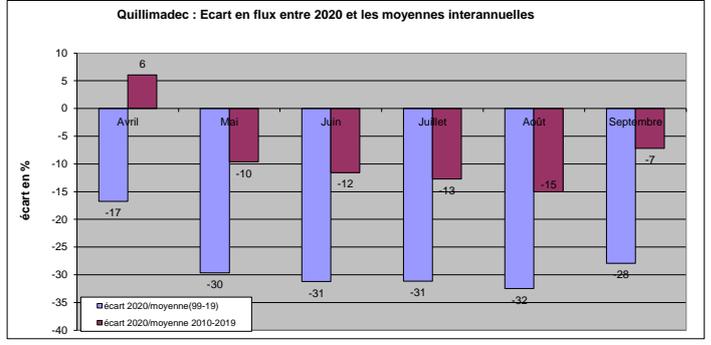
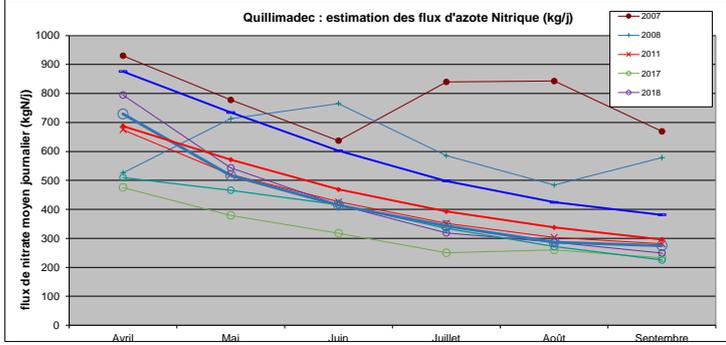
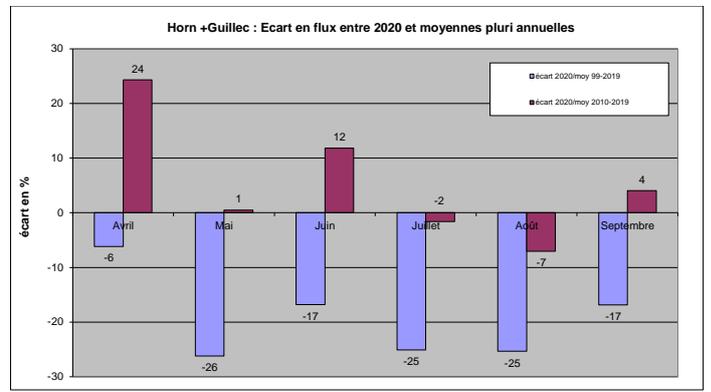
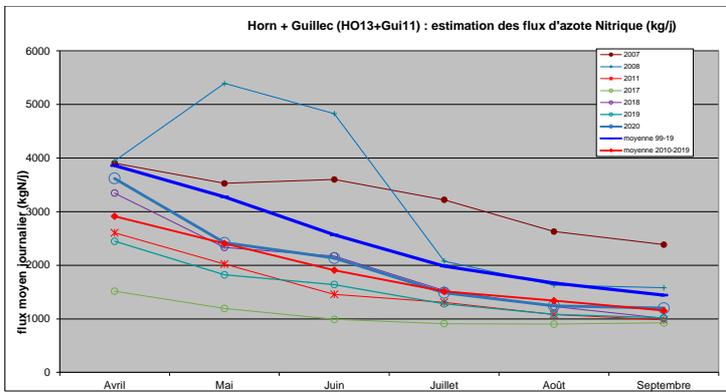
- 04 02 2021 : interview vidéo pour le Télégramme : proliférations, évolutions, mécanismes, facteur sde contrôle, dangerosité....
- 09 02 2021 : AFP : demandes sur la situation AV en Bretagne, bilan 2020, etc.
- 10 02 2021 : France 3 : interview sur le bilan 2020 et facteurs explicatifs de la situation observée
- 15 02 2021 : Travaux d'étudiant de Paris Saclay : AV et impact sur les écosystèmes, valorisation, suivis, ramassage, ...
- 24 02 2021 : Agrocampus ouest : conférence pour les étudiants de 2eme année du Master « Milieux aquatiques » : prolifération en Bretagne, caractéristiques, moyen de lutte, impacts,
- 12 03 2021 : Etudiants Master gestion des territoires et développement local UBO : données pour qualifier l'impact des algues vertes sur les territoires des 7 EPCI du littoral du Finistère.
- 15 03 2021 : réponse à la Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor au sujet des proliférations en baie de Saint Brieuc : situation, tendances et prévision de précocité 2021.



Annexe 2

(flux 2020 sur les principaux cours d'eau)







Annexe 3

Publication bibliography



BIBLIOGRAPHIE

- Amador-Castro, Fernando; García-Cayuela, Tomás; Alper, Hal S.; Rodriguez-Martinez, Verónica; Carrillo-Nieves, Danay (2021) Valorization of pelagic sargassum biomass into sustainable applications. Current trends and challenges. In : Journal of Environmental Management, vol. 283, p. 112013. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112013.
- Bermejo, Ricardo; MacMonagail, Michéal; Heesch, Svenja; Mendes, Ana; Edwards, Maeve; Fenton, Owen et al. (2020) The arrival of a red invasive seaweed to a nutrient over-enriched estuary increases the spatial extent of macroalgal blooms. In : Marine environmental research, vol. 158, p. 104944. DOI: 10.1016/j.marenvres.2020.104944.
- Brisset, Maële; van Wynsberge, Simon; Andréfouët, Serge; Payri, Claude; Soulard, Benoît; Bourassin, Emmanuel et al. (2021) Hindcast and Near Real-Time Monitoring of Green Macroalgae Blooms in Shallow Coral Reef Lagoons Using Sentinel-2. A New-Caledonia Case Study. In : Remote Sensing, vol. 13, n° 2, p. 211. DOI: 10.3390/rs13020211.
- Cao, Hongye; Han, Ling (2020) Drift path of green tide and the impact of typhoon “Chan-hom” in the Chinese Yellow Sea based on GOCI images in 2015. In : Ecological Informatics, vol. 60, p. 101156. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2020.101156.
- Chai, Yanchao; Wang, Haiqing; Ge, Changzi (2020) Maintenance mechanism of Enteromorpha prolifera green tide. From perspective of nutrients utilization. In : (None). En ligne : <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/54071>.
- Chen, Jing; Li, Hongmei; Zhang, Zenghu; He, Chen; Shi, Quan; Jiao, Nianzhi; Zhang, Yongyu (2020) DOC dynamics and bacterial community succession during long-term degradation of Ulva prolifera and their implications for the legacy effect of green tides on refractory DOC pool in seawater. In : Water Research, vol. 185, p. 116268. DOI: 10.1016/j.watres.2020.116268.
- Chen, Yanan; Song, Dehai; Li, Keqiang; Gu, Linan; Wei, Aihong; Wang, Xiulin (2020) Hydro-biogeochemical modeling of the early-stage outbreak of green tide (Ulva prolifera) driven by land-based nutrient loads in the Jiangsu coast. In : Marine pollution bulletin, vol. 153, p. 111028. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111028.
- Choi, Sun Kyeong; Oh, Hyun-Ju; Yun, Suk-Hyun; Lee, Hyuk Je; Lee, Kyoung-hoon; Han, Young Seok et al. (2020) Population Dynamics of the ‘Golden Tides’ Seaweed, Sargassum horneri, on the Southwestern Coast of Korea. The Extent and Formation of Golden Tides. In : Sustainability, vol. 12, n° 7, p. 2903. DOI: 10.3390/su12072903.
- Cindana Mo’o, Faradila R.; Wilar, Gofarana; Devkota, Hari P.; Wathoni, Nasrul (2020) Ulvan, a Polysaccharide from Macroalga Ulva sp. A Review of Chemistry, Biological Activities and Potential for Food and Biomedical Applications (Applied Sciences, 10).
- Davis, Doleasha; Simister, Rachael; Campbell, Sanjay; Marston, Melissa; Bose, Suranjana; McQueen-Mason, Simon J. et al. (2021) Biomass composition of the golden tide pelagic seaweeds Sargassum fluitans and S. natans (morphotypes I and VIII) to inform valorisation pathways. In : Science of The Total Environment, vol. 762, p. 143134. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143134.



Eismann, Alejandra Irina; Perpetuo Reis, Renata; Ferreira da Silva, Anita; Negrão Cavalcanti, Diana (2020) Ulva spp. carotenoids. Responses to environmental conditions. In : Algal Research, vol. 48, p. 101916. DOI: 10.1016/j.algal.2020.101916.

El Gammal, Mostafa (2020) The Green Tide of Macroalgae in The Water of Arabian Gulf, Saudi Arabia; Removal The Nitrogen Compounds By Ulva Intestinalis.

El-Ahmady El-Naggar, Noura; Rabei, Nashwa H.; El-Malkey, Sahar E. (2020) Eco-friendly approach for biosorption of Pb²⁺ and carcinogenic Congo red dye from binary solution onto sustainable Ulva lactuca biomass. In : Scientific reports, vol. 10, n° 1, p. 16021. DOI: 10.1038/s41598-020-73031-1.

Fan, Xiao; Xu, Dong; Wang, Dongsheng; Wang, Yitao; Zhang, Xiaowen; Ye, Naihao (2020) Nutrient uptake and transporter gene expression of ammonium, nitrate, and phosphorus in Ulva linza. Adaption to variable concentrations and temperatures. In : Journal of Applied Phycology, vol. 32, n° 2, p. 1311–1322. DOI: 10.1007/s10811-020-02050-2.

Feng, Zhihua; Zhang, Tao; Shi, Huahong; Gao, Kunshan; Huang, Wei; Xu, Juntian et al. (2020) Microplastics in bloom-forming macroalgae. Distribution, characteristics and impacts. In : Journal of Hazardous Materials, vol. 397, p. 122752. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122752.

Filote, Catalina; Santos, Sílvia C. R.; Popa, Valentin I.; Botelho, Cidália M. S.; Volf, Irina (2020) Biorefinery of marine macroalgae into high-tech bioproducts. A review. In : Environmental Chemistry Letters, p. 1–32. DOI: 10.1007/s10311-020-01124-4.

Fort, Antoine; McHale, Marcus; Cascella, Kevin; Potin, Philippe; Usadel, Björn; Guiry, Michael D.; Sulpice, Ronan (2020) Foliose Ulva Species Show Considerable Inter-Specific Genetic Diversity, Low Intra-Specific Genetic Variation, and the Rare Occurrence of Inter-Specific Hybrids in the Wild. In : Journal of phycology. DOI: 10.1111/jpy.13079.

Fort, Antoine; McHale, Marcus; Cascella, Kevin et al. Elisabete da Costa; Ricardo Calado; Maria Domingues; Isabel Costa Azevedo et al. (2020) Exhaustive reanalysis of barcode sequences from public repositories highlights ongoing misidentifications and impacts taxa diversity and distribution. A case study of the Sea Lettuce. In : Authorea Preprints. DOI: 10.22541/au.160622296.66033732/v1.

Gai, Yingying; Yu, Dingfeng; Zhou, Yan; Yang, Lei; Chen, Chao; Chen, Jun (2020) An Improved Model for Chlorophyll-a Concentration Retrieval in Coastal Waters Based on UAV-Borne Hyperspectral Imagery. A Case Study in Qingdao, China. In : Water, vol. 12, n° 10, p. 2769. DOI: 10.3390/w12102769.

Gao, Fenglei; Li, Jingxi; Hu, Jun; Li, Xianguo; Sun, Chengjun (2020) Occurrence of microplastics carried on Ulva prolifera from the Yellow Sea, China. In : Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, vol. 2, p. 100054. DOI: 10.1016/j.cscee.2020.100054.

Gao, Guang; Burgess, J. Grant; Wu, Min; Wang, Shujun; Gao, Kunshan (2020) Using macroalgae as biofuel. Current opportunities and challenges. In : Botanica Marina, vol. 63, n° 4, p. 355–370. DOI: 10.1515/bot-2019-0065.

Gao, Hong; Su, Rongguo; Zhou, Feifei; Zhang, Chuansong; Shi, Xiaoyong (2020) Extraction and identification of toxic organic substances from decaying green alga Ulva prolifera. In : Harmful Algae, vol. 93, p. 101786. DOI: 10.1016/j.hal.2020.101786.

Ghaderiardakani, Fatemeh; Quartino, Maria Liliana; Wichard, Thomas (2020) Microbiome-Dependent Adaptation of Seaweeds Under Environmental Stresses. A Perspective. In : Frontiers in Marine Science, vol. 7, p. 1111. DOI: 10.3389/fmars.2020.575228.



- Gu, Wenhui; Wang, Guangce (2020) Absorptive Process and Biological Activity of *Ulva prolifera* and Algal Bioremediation of Coking Effluent. In : *BioResources*, vol. 15, n° 2, p. 2605–2620.
- Gubelit, Y. I.; Polyak, Y. M.; Shigaeva, T. D.; Bakina, L. G.; Kudryavtseva, V. A. (2020) Can the “Green Tides” Affect the Metal Distribution in the Coastal Sediments? A Case Study in the Eastern Gulf of Finland, Baltic Sea. In : *Contemporary Problems of Ecology*, vol. 13, n° 2, p. 113–126. DOI: 10.1134/S1995425520020043.
- Han, Hongbin; Fan, Shiliang; Song, Wei; Li, Yan; Xiao, Jie; Wang, Zongling et al. (2020) The contribution of attached *Ulva prolifera* on *Pyropia* aquaculture rafts to green tides in the Yellow Sea. In : *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 39, n° 2, p. 101–106. DOI: 10.1007/s13131-019-1452-0.
- Han, Hongbin; Yan, Li; Song, Wei; Wang, Zongling; Zhang, Xuelei (2020) Complete chloroplast genome of *Ulva pertusa*, one of the causal species of green macroalgal blooms in the coastal waters of Qinhuangdao, China. In : *Mitochondrial DNA Part B*. DOI: 10.1080/23802359.2020.1723448.
- Han, Lu; Yang, Gui-Peng; Liu, Chun-Ying; Jin, Yue-Mei; Liu, Tao (2021) Emissions of biogenic sulfur compounds and their regulation by nutrients during an *Ulva prolifera* bloom in the Yellow Sea. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 162, p. 111885. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111885.
- Hao, Ya; Guan, Chen; Zhao, Xinyu; Qu, Tongfei; Tang, Xuexi; Wang, Ying (2020) Investigation of the decline of *Ulva prolifera* in the Subei Shoal and Qingdao based on physiological changes. In : *Journal of Oceanology and Limnology*, p. 1–10. DOI: 10.1007/s00343-020-0140-4.
- Hao, Ya; Qu, Tongfei; Guan, Chen; Zhao, Xinyu; Hou, Chengzong; Tang, Xuexi; Wang, Ying (2020) Competitive advantages of *Ulva prolifera* from *Pyropia* aquaculture rafts in Subei Shoal and its implication for the green tide in the Yellow Sea. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 157, p. 111353. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111353.
- He, Yuan; Ye, Yuantu; Shen, Songdong (2020) Effects of light and salinity on carotenoid biosynthesis in *Ulva prolifera*. In : *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 39, n° 10, p. 50–57. DOI: 10.1007/s13131-020-1577-1.
- Hui Wang; Guangce Wang; Wenhui Gu (2020) Macroalgal blooms caused by marine nutrient changes resulting from human activities. In : *Journal of Applied Ecology*, vol. 57, n° 4, p. 766–776. DOI: 10.1111/1365-2664.13587.
- Huo, Yuanzi; Kim, Jang Kyun; Yarish, Charles; Augyte, Simona; He, Peimin (2021) Responses of the germination and growth of *Ulva prolifera* parthenogametes, the causative species of green tides, to gradients of temperature and light. In : *Aquatic Botany*, vol. 170, p. 103343. DOI: 10.1016/j.aquabot.2020.103343.
- Inaba, Nobuharu; Kodama, Isamu; Nagai, Satoshi; Shiraishi, Tomotaka; Matsuno, Kohei; Yamaguchi, Atsushi; Imai, Ichiro (2020) Distribution of Harmful Algal Growth-Limiting Bacteria on Artificially Introduced *Ulva* and Natural Macroalgal Beds. In : *Applied Sciences*, vol. 10, n° 16, p. 5658. DOI: 10.3390/app10165658.
- Manuel Jerold, Santhiagu Arockiasamy, Velmurugan Sivasubramanian, éd. (2020) *Bioprocess Engineering for Bioremediation*.
- Jiang, Binbin; Fan, Daidu; Ji, Qingyuan; Obodoefuna, Doris Chigozie (2020) Dynamic Diurnal Changes in Green Algae Biomass in the Southern Yellow Sea Based on GOCI Images. In : *Journal of Ocean University of China*, vol. 19, n° 4, p. 811–817. DOI: 10.1007/s11802-020-4183-0.



- Jiang, Jianan; Yu, Yanyan; Zheng, Mingshan; Liu, Nana; Li, Yahe; Xu, Nianjun (2020) High light might alleviate inhibitory effects of high temperature on growth and physiological parameters of *Ulva prolifera*. In : *Aquaculture Research*, vol. 51, n° 5, p. 2062–2070. DOI: 10.1111/are.14557.
- Jiang, Xiaopeng; Gao, Meng; Gao, Zhiqiang (2020) A novel index to detect green-tide using UAV-based RGB imagery. In : *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 245, p. 106943. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.106943.
- Jones, Auriane G.; Quillien, Nolwenn; Fabvre, Axel; Grall, Jacques; Schaal, Gauthier; Le Bris, Hervé (2020) Green macroalgae blooms (*Ulva* spp.) influence trophic ecology of juvenile flatfish differently in sandy beach nurseries. In : *Marine environmental research*, vol. 154, p. 104843. DOI: 10.1016/j.marenvres.2019.104843.
- Kambey, Cicilia S. B.; Kang, Jin Woo; Chung, Ik Kyo (2020) Impact of Temperature, Low pH and NH₄⁺ Enrichment on Ecophysiological Responses of a Green Tide Species *Ulva australis* Areschoug. In : *Ocean Science Journal*, vol. 55, n° 1, p. 115–127. DOI: 10.1007/s12601-020-0005-y.
- Kang, Xinyu; Liu, Jinlin; Yang, Xiaoqian; Cui, Jianjun; Zhao, Lijuan; Wen, Qinlin et al. (2020) The complete mitochondrial genome of a Green macroalgae species. *Ulva meridionalis* (Ulvales: Ulvaceae). In : *Mitochondrial DNA Part B*, vol. 5, n° 1, p. 760–761. DOI: 10.1080/23802359.2020.1715856.
- Kepel, R. C.; Mantiri, D. M. H.; Sahami, F. M. (2020) Phylogeny and molecular identification of green macroalgae, *Ulva prolifera* (O. F. Müller, 1778) in Totok Bay, Maluku Sea, and Blongko waters, Sulawesi Sea, North Sulawesi, Indonesia. In : *AAFL Bioflux*, vol. 13, n° 4.
- Kim, Keunyoung; Kim, Bum-Jun; Kim, Euihyun; Ryu, Joo-Hyung (2020) Classification of Green Tide at Coastal Area Using Lightweight UAV and only RGB Images. In : *Journal of Coastal Research*, vol. 102, n° SI, p. 224–231. DOI: 10.2112/SI102-028.1.
- Koçer, Anil Tevfik; Özçimen, Didem (2021) Determination of combustion characteristics and kinetic parameters of *Ulva lactuca* and its biochar. In : *Biomass Conversion and Biorefinery*. DOI: 10.1007/s13399-020-01245-4.
- Kurakake, Masahiro; Itakura, Keisuke; Nakano, Mayuko (2021) Functional Properties of Nori Seaweed (*Pyropia yezoensis*) with Different Quality and *Ulva* sp. In : *Journal of Aquatic Food Product Technology*, p. 1–8. DOI: 10.1080/10498850.2020.1868642.
- Lakshmi, D. Shanthana; Sankaranarayanan, Sivashunmugam; Gajaria, Tejal K.; Li, Guoqiang; Kujawski, Wojciech; Kujawa, Joanna; Navia, Rodrigo (2020) A Short Review on the Valorization of Green Seaweeds and *Ulva*. *FEEDSTOCK for Chemicals and Biomaterials*. In : *Biomolecules*, vol. 10, n° 7, p. 991. DOI: 10.3390/biom10070991.
- Lee, Jee Eun; Kang, Jin Woo (2020) The interactive effects of elevated temperature and nutrient concentrations on the physiological responses of *Ulva linza* Linnaeus (Ulvales, Chlorophyta). In : *Journal of Applied Phycology*, vol. 32, n° 4, p. 2459–2467. DOI: 10.1007/s10811-019-02031-0.
- Li, Dongxue; Gao, Zhiqiang; Zheng, Xiangyang; Wang, Nanyu (2020) Analysis of the interannual variation characteristics of the northernmost drift position of the green tide in the Yellow Sea. In : *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, n° 28, p. 35137–35147. DOI: 10.1007/s11356-020-09730-z.
- Li, Jing; Song, Xiuxian; Fan, Xin; Yu, Zhiming (2020) Flocculation of *Ulva* microscopic propagules using modified clay. A mesocosm experiment. In : *Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 38, n° 4, p. 1283–1291. DOI: 10.1007/s00343-020-9348-6.



Li, Naicheng; Tong, Mengmeng; Glibert, Patricia M. (2020) Effect of allelochemicals on photosynthetic and antioxidant defense system of *Ulva prolifera*. In : *Aquatic Toxicology*, vol. 224, p. 105513. DOI: 10.1016/j.aquatox.2020.105513.

Li, Naicheng; Zhang, Jingyao; Zhao, Xinyu; Wang, Pengbin; Tong, Mengmeng; Glibert, Patricia M. (2020) Allelopathic Inhibition by the Bacteria *Bacillus cereus* BE23 on Growth and Photosynthesis of the Macroalga *Ulva prolifera* (*Journal of Marine Science and Engineering*, 8).

Liang, Tingting; Ke, Lina; Fan, Jianchao; Zhao, Jianhua (2020) Green Tide Information Extraction Based on Multi-source Remote Sensing Data. In : 2020 12th International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI), p. 460–465.

Li-hong, Chen; Rong-lian, Xing; Ai-li, Jiang; Ya-nan, Yao; Ge-fei, Zhou (2020) Effects of nitrogen source and N/P on growth and photosynthesis in the invasive marine macroalga *Chaetomorpha valida*. In : *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, n° 19, p. 24272–24283. DOI: 10.1007/s11356-020-08827-9.

Lin, Guohong; Xu, Xuefeng; Wang, Ping; Liang, Shengkang; Li, Yanbin; Su, Ying et al. (2020) Methodology for forecast and control of coastal harmful algal blooms by embedding a compound eutrophication index into the ecological risk index. In : *Science of The Total Environment*, vol. 735, p. 139404. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139404.

Liu, Chun-Ying; Xu, Gao-Bin; Deng, Xue; Zhang, Hong-Hai; Liu, Tao; Yang, Gui-Peng (2020) Changes in concentrations of biogenic sulfur compounds in coastal waters off Qingdao, China during an *Ulva prolifera* bloom. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 152, p. 110940. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110940.

Liu, Dongyan; Ma, Qian; Valiela, Ivan; Anderson, Donald M.; Keesing, John K.; Gao, Kunshan et al. (2020) Role of C 4 carbon fixation in *Ulva prolifera*, the macroalga responsible for the world's largest green tides. In : *Communications Biology*, vol. 3, n° 1, p. 1–8. DOI: 10.1038/s42003-020-01225-4.

Liu, Feng; Melton, James T., III; Lopez-Bautista, Juan M.; Chen, Nansheng (2020) Multiple Intraspecific Variations of Mitochondrial Genomes in the Green-Tide Forming Alga, *Ulva compressa* Linnaeus (Ulvophyceae, Chlorophyta). In : *Frontiers in Marine Science*, vol. 7. DOI: 10.3389/fmars.2020.00714.

Liu, Jinlin; Yang, Xiaoqian; Cui, Jianjun; Zhuang, Minmin; Zhao, Lijuan; Li, Jiye et al. (2020) Complete chloroplast genome of *Ulva meridionalis* (Ulvales, Ulvaceae): an extremely fast-growing green macroalgae. In : *Mitochondrial DNA Part B*, vol. 5, n° 2, p. 1390–1392. DOI: 10.1080/23802359.2020.1735967.

Liu, Manman; Liu, Feng; Chen, Nansheng; Melton, James T.; Luo, Minbo (2020) Mitochondrial genomes and phylogenomic analysis of *Ulva lactuca* Linnaeus (Ulvophyceae, Chlorophyta). In : *Mitochondrial DNA Part B*, vol. 5, n° 2, p. 1638–1639. DOI: 10.1080/23802359.2020.1745712.

Liu, Xuehua; Huan, Li; Gu, Wenhui; Gao, Shan; Zheng, Zhenbing; Wang, Guangce (2020) Acid treatment combined with high light leads to increased removal efficiency of *Ulva prolifera*. In : *Algal Research*, vol. 45, p. 101745. DOI: 10.1016/j.algal.2019.101745.

Lopes, Diana; Melo, Tânia; Rey, Felisa; Meneses, Joana; Monteiro, Fátima L.; Helguero, Luisa A. et al. (2020) Valuing Bioactive Lipids from Green, Red and Brown Macroalgae from Aquaculture, to Foster Functionality and Biotechnological Applications (*Molecules*, 25).

Mangott, A.; Nappi, J.; Delli Paoli Carini, A.; Goncalves, P.; Hua, K.; Domingos, J. A. et al. (2020) *Ulva lactuca* as a functional ingredient and water bioremediator positively influences the hepatopancreas and



- water microbiota in the rearing of *Litopenaeus vannamei*. In : *Algal Research*, vol. 51, p. 102040. DOI: 10.1016/j.algal.2020.102040.
- Mantri, Vaibhav A.; Kazi, Mudassar Anisoddin; Balar, Nikunj B.; Gupta, Vishal; Gajaria, Tejal (2020) Concise review of green algal genus *Ulva* Linnaeus. In : *Journal of Applied Phycology*, vol. 32, n° 5, p. 2725–2741. DOI: 10.1007/s10811-020-02148-7.
- Margareta, Winny; Nagarajan, Dillirani; Chang, Jo-Shu; Lee, Duu-Jong (2020) Dark fermentative hydrogen production using macroalgae (*Ulva* sp.) as the renewable feedstock. In : *Applied Energy*, vol. 262, p. 114574. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.114574.
- Miao, Xiaoxiang; Xiao, Jie; Xu, Qinzeng; Fan, Shiliang; Wang, Zongling; Wang, Xiao; Zhang, Xuelei (2020) Distribution and species diversity of the floating green macroalgae and micro-propagules in the Subei Shoal, southwestern Yellow Sea. In : *PeerJ*, vol. 8, e10538. DOI: 10.7717/peerj.10538.
- Mitsuhashi, Chisa; Teramura, Hiroshi; Shimada, Hiroaki (2020) Construction of genomic marker sets based on the chloroplast genome of a green alga, *Ulva pertusa* (syn. *Ulva australis*), leads to simple detection of *Ulva* species. In : *Genes & Genetic Systems*, advpub. DOI: 10.1266/ggs.19-00054.
- Mora-Soto, Alejandra; Palacios, Mauricio; Macaya, Erasmo C.; Gómez, Iván; Huovinen, Pirjo; Pérez-Matus, Alejandro et al. (2020) A High-Resolution Global Map of Giant Kelp (*Macrocystis pyrifera*) Forests and Intertidal Green Algae (*Ulvophyceae*) with Sentinel-2 Imagery. In : *Remote Sensing*, vol. 12, n° 4, p. 694. DOI: 10.3390/rs12040694.
- Moreira, Ana S.P.; da Costa, Elisabete; Melo, Tânia; Sulpice, Ronan; Cardoso, Susana M.; Pitarma, Bárbara et al. (2020) Seasonal plasticity of the polar lipidome of *Ulva rigida* cultivated in a sustainable integrated multi-trophic aquaculture. In : *Algal Research*, vol. 49, p. 101958. DOI: 10.1016/j.algal.2020.101958.
- Nakamura, Masaya; Kumagai, Naoki H.; Tamaoki, Masanori; Arita, Koichi; Ishii, Yuichi; Nakajima, Nobuyoshi; Yabe, Tohru (2020) Photosynthesis and growth of *Ulva ohnoi* and *Ulva pertusa* (*Ulvophyceae*) under high light and high temperature conditions, and implications for green tide in Japan. In : *Phycological Research*, vol. 68, n° 2, p. 152–160. DOI: 10.1111/pre.12410.
- Naldi, Mariachiara; Nizzoli, Daniele; Bartoli, Marco; Viaroli, Pierpaolo; Viaroli, Pierluigi (2020) Effect of filter-feeding mollusks on growth of green macroalgae and nutrient cycling in a heavily exploited coastal lagoon. In : *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 239, p. 106679. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.106679.
- Nordheim, Lena von; Kotterba, Paul; Moll, Dorothee; Polte, Patrick (2020) Lethal effect of filamentous algal blooms on Atlantic herring (*Clupea harengus*) eggs in the Baltic Sea. In : *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 30, n° 7, p. 1362–1372. DOI: 10.1002/aqc.3329.
- Olmedo-Masat, O. Magalí; Raffo, M. Paula; Rodríguez-Pérez, Daniel; Arijón, Marianela; Sánchez-Carnero, Noela (2020) How Far Can We Classify Macroalgae Remotely? An Example Using a New Spectral Library of Species from the South West Atlantic (Argentine Patagonia). In : *Remote Sensing*, vol. 12, n° 23, p. 3870. DOI: 10.3390/rs12233870.
- Park, Jihae (2020) Photosynthetic and biochemical traits change in the green-tide-forming macroalga *Ulva pertusa* during sporulation. In : *Journal of phycology*, vol. 56, n° 2, p. 549–557. DOI: 10.1111/jpy.12969.
- Qi, Lin; Hu, Chuanmin; Mikelsons, Karlis; Wang, Menghua; Lance, Veronica; Sun, Shaojie et al. (2020) In search of floating algae and other organisms in global oceans and lakes. In : *Remote Sensing of Environment*, vol. 239, p. 111659. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111659.



- Qu, Tongfei; Zhao, Xinyu; Hao, Ya; Zhong, Yi; Guan, Chen; Hou, Chengzong et al. (2020) Ecological effects of *Ulva prolifera* green tide on bacterial community structure in Qingdao offshore environment. In : *Chemosphere*, vol. 244, p. 125477. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.125477.
- Renita, A. Annam; Kumar, P. Senthil (2020) Valorization of Waste Algal Boom for Value-Added Products. In : Manuel Jerold, Santhiagu Arockiasamy et Velmurugan Sivasubramanian, coord.: *Bioprocess Engineering for Bioremediation*, p. 129–137.
- Roleda, Michael Y.; Lage, Sandra; Aluwini, Daniel Fonn; Rebours, Céline; Brurberg, May Bente; Nitschke, Udo; Gentili, Francesco G. (2021) Chemical profiling of the Arctic sea lettuce *Ulva lactuca* (Chlorophyta) mass-cultivated on land under controlled conditions for food applications. In : *Food chemistry*, vol. 341, p. 127999. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127999.
- Rosa, João; Leston, Sara; Crespo, Daniel; Freitas, Andreia; Vila Pouca, Ana Sofia; Barbosa, Jorge et al. (2020) Uptake of enrofloxacin from seawater to the macroalgae *Ulva* and its use in IMTA systems. In : *Aquaculture*, vol. 516, p. 734609. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734609.
- Rybak, Andrzej S. (2021) Freshwater macroalga, *Ulva pilifera* (Ulvaceae, Chlorophyta) as an indicator of the trophic state of waters for small water bodies. In : *Ecological Indicators*, vol. 121, p. 106951. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106951.
- Saldarriaga-Hernandez, Sara; Hernandez-Vargas, Gustavo; Iqbal, Hafiz M.N.; Barceló, Damiá; Parra-Saldívar, Roberto (2020) Bioremediation potential of *Sargassum* sp. biomass to tackle pollution in coastal ecosystems. Circular economy approach. In : *The Science of the total environment*, vol. 715, p. 136978. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136978.
- Sauriau, Pierre-Guy; Dartois, Manon; Becquet, Vanessa; Aubert, Fabien; Huet, Valérie; Bréret, Martine et al. (2021) Multiple genetic marker analysis challenges the introduction history of *Ulva australis* (Ulvales, Chlorophyta) on French coasts. In : *European Journal of Phycology*, p. 1–13. DOI: 10.1080/09670262.2021.1876249.
- Senga, Yukiko; Kobayashi, Wataru; Mikawa, Kasumi; Kitazawa, Toshiyuki; Lee, Seongwon; Shiraki, Yohei (2020) Influences of green macroalgae blooms on nutrients and sulfide dynamics in hypereutrophic intertidal ecosystems. In : *Limnology*, p. 1–10. DOI: 10.1007/s10201-020-00644-w.
- Shao, Zhanru; Shuai, Li; Cheng, Haomiao; Wu, Zhihao; You, Feng; Zhang, Haining; Yao, Jianting (2020) Influence of iron and carbon on the occurrence of *Ulva prolifera* (Ulvophyceae) in the Yellow Sea. In : *Regional Studies in Marine Science*, vol. 36, p. 101224. DOI: 10.1016/j.rsma.2020.101224.
- Sun, Ke; Ren, Jeffrey S.; Bai, Tao; Zhang, Jihong; Liu, Qing; Wu, Wenguang et al. (2020) A dynamic growth model of *Ulva prolifera*. Application in quantifying the biomass of green tides in the Yellow Sea, China. In : *Ecological Modelling*, vol. 428, p. 109072. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2020.109072.
- Sun, Ke; Sun, Junchuan; Liu, Qing; Lian, Zhan; Ren, Jeffrey S.; Bai, Tao et al. (2020) A numerical study of the *Ulva prolifera* biomass during the green tides in China - toward a cleaner *Porphyra* mariculture. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 161, p. 111805. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111805.
- Wang, Changyou; Jiao, Xinming; Zhang, Ying; Zhang, Lei; Xu, Hui (2020) A light-limited growth model considering the nutrient effect for improved understanding and prevention of macroalgae bloom. In : *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, n° 11, p. 12405–12413. DOI: 10.1007/s11356-020-07822-4.



- Wang, Jianhua; Liu, Jian; Zhang, Yuxuan; Wu, Ju (2020) Microbial ecology might serve as new indicator for the influence of green tide on the coastal water quality. Assessment the bioturbation of *Ulva prolifera* outbreak on bacterial community in coastal waters. In : *Ecological Indicators*, vol. 113, p. 106211. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106211.
- Wang, Junjie; Yu, Zhigang; Wei, Qinsheng; Yang, Fuxia; Dong, Mingfan; Li, Dandan et al. (2020) Intra- and inter-seasonal variations in the hydrological characteristics and nutrient conditions in the southwestern Yellow Sea during spring to summer. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 156, p. 111139. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111139.
- Wang, Ke-Ke; Tian, Ye; Li, Pei-Feng; Liu, Chun-Ying; Yang, Gui-Peng (2020) Sources of nitric oxide during the outbreak of *Ulva prolifera* in coastal waters of the Yellow Sea off Qingdao. In : *Marine environmental research*, vol. 162, p. 105177. DOI: 10.1016/j.marenvres.2020.105177.
- Wang, Yu; Liu, Feng; Wang, Mengqiang; Moejes, Fiona W.; Bi, Yuping (2020) Characterization and transcriptional analysis of one carbonic anhydrase gene in the green-tide-forming alga *Ulva prolifera* (Ulvophyceae, Chlorophyta). In : *Phycological Research*, vol. 68, n° 1, p. 90–97. DOI: 10.1111/pre.12402.
- Wang, Yue; Yang, Qixia; Chen, Jiacheng; Yang, Jingjie; Zhang, Yuping; Chen, Yidi et al. (2020) Adsorption behavior of Cr(VI) by magnetically modified *Enteromorpha prolifera* based biochar and the toxicity analysis. In : *Journal of Hazardous Materials*, vol. 395, p. 122658. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122658.
- Wang, Yueqi; Gao, Zhiqiang (2020) Contrasting chlorophyll-a seasonal patterns between nearshore and offshore waters in the Bohai and Yellow Seas, China. A new analysis using improved satellite data. In : *Continental Shelf Research*, vol. 203, p. 104173. DOI: 10.1016/j.csr.2020.104173.
- Wei, Yunhong; Zhang, Ziye; Mu, Bing; Li, Ying; Wang, Quanbin; Liu, Rongjie (2020) Geolocation Accuracy Evaluation of GF-4 Geostationary High-Resolution Optical Images over Coastal Zones and Offshore Areas. In : *Journal of Coastal Research*, vol. 102, n° SI, p. 326–333. DOI: 10.2112/SI102-039.1.
- Xiao, Jie; Fan, Shiliang; Wang, Zongling; Fu, Mingzhu; Song, Hongjun; Wang, Xiao et al. (2020) Decadal characteristics of the floating *Ulva* and *Sargassum* in the Subei Shoal, Yellow Sea. In : *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 39, n° 10, p. 1–10. DOI: 10.1007/s13131-020-1655-4.
- Xiao, Jie; Wang, Zongling; Song, Hongjun; Fan, Shiliang; Yuan, Chao; Fu, Mingzhu et al. (2020) An anomalous bi-macroalgal bloom caused by *Ulva* and *Sargassum* seaweeds during spring to summer of 2017 in the western Yellow Sea, China. In : *Harmful Algae*, vol. 93, p. 101760. DOI: 10.1016/j.hal.2020.101760.
- Xie, Wei Feng; Wu, Chun Hui; Zhao, Jin; Lin, Xu Yin; Jiang, Peng (2020) New records of *Ulva* spp. (Ulvophyceae, Chlorophyta) in China, with special reference to an unusual morphology of *U. meridionalis* forming green tides. In : *European Journal of Phycology*, vol. 55, n° 4, p. 412–425. DOI: 10.1080/09670262.2020.1740946.
- Xing, Qikun; Bi, Guiqi; Cao, Min; Belcour, Arnaud; Aite, Méziane; Mao, Yunxiang (2020) Comparative Transcriptome Analysis Provides Insights into The Response of *Ulva Compressa* to The Fluctuating Salinity Conditions : Research Square.
- Xu, Zhihua; Li, Jingmei; Yang, Zhe; Shan, Jingzhu (2020) Residents' willingness to pay for the elimination of *Ulva prolifera* bloom. A case study in Qingdao, China. In : *Journal of Environmental Planning and Management*, p. 1–19. DOI: 10.1080/09640568.2020.1784114.



- Yang, Juanjuan; Yin, Yi; Yu, Dachun; He, Lihong; Lu, Shan; Shen, Songdong (2020) Activation of MAPK signaling pathway during nitrogen-deficiency responses in *Ulva Prolifera* : Research Square.
- Yang, Juanjuan; Yu, Dachun; Shen, Songdong (2020) Expression analyses of miRNA Up-MIR-843 and its target genes in *Ulva prolifera*. In : *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 39, n° 10, p. 27–34. DOI: 10.1007/s13131-020-1657-2.
- Yang, Xue; Tan, Liju; Lin, Kun; Majid, Abdul; Wang, Jiangtao (2020) Interaction between the green macroalga *Ulva prolifera* and three microalgae under unique various irradiances found in the southern Yellow Sea, China. In : *Journal of Applied Phycology*, vol. 32, n° 5, p. 3509–3520. DOI: 10.1007/s10811-020-02162-9.
- Yong Wang; Zhihai Zhong; Song Qin; Jialin Li; Jingjing Li; Zhengyi Liu (2021) Effects of Temperature and Light on Growth Rate and Photosynthetic Characteristics of *Sargassum horneri*. In : *Journal of Ocean University of China*, vol. 20, n° 1, p. 101–110. DOI: 10.1007/s11802-021-4507-8.
- Yu, Haifei; Wang, Changying; Sui, Yi; Li, Jinhua; Chu, Jialan (2020) Automatic Extraction of Green Tide Using Dual Polarization Chinese GF-3 SAR Images. In : *Journal of Coastal Research*, vol. 102, n° SI, p. 318–325. DOI: 10.2112/SI102-038.1.
- Yuan, Yuan; Chu, Depeng; Fan, Jiajun; Zou, Ping; Qin, Yimin; Geng, Yuting et al. (2021) Ecofriendly conversion of algal waste into valuable plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) biomass. In : *Waste management (New York, N.Y.)*, vol. 120, p. 576–584. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.10.020.
- Zhang, Guangzong; Wu, Mengquan; Zhang, Anding; Xing, Qianguo; Zhou, Min; Zhao, Deheng et al. (2020) Influence of Sea Surface Temperature on Outbreak of *Ulva prolifera* in the Southern Yellow Sea, China. In : *Chinese Geographical Science*, vol. 30, n° 4, p. 631–642. DOI: 10.1007/s11769-020-1129-9.
- Zhang, Guangzong; Wu, Mengquan; Zhou, Min; Zhao, Lianjie (2020) The seasonal dissipation of *Ulva prolifera* and its effects on environmental factors. Based on remote sensing images and field monitoring data. In : *Geocarto International*. DOI: 10.1080/10106049.2020.1745301.
- Zhang, Haibo; Su, Rongguo; Shi, Xiaoyong; Zhang, Chuansong; Yin, Hang; Zhou, Yanlei; Wang, Guoshan (2020) Role of nutrients in the development of floating green tides in the Southern Yellow Sea, China, in 2017. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 156, p. 111197. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111197.
- Zhang, Haibo; Wang, Guoshan; Zhang, Chuansong; Su, Rongguo; Shi, Xiaoyong; Wang, Xiulin (2020) Characterization of the development stages and roles of nutrients and other environmental factors in green tides in the Southern Yellow Sea, China. In : *Harmful Algae*, vol. 98, p. 101893. DOI: 10.1016/j.hal.2020.101893.
- Zhang, Pengyan; Xin, Yu; Zhong, Xiaosong; Yan, Zhenwei; Jin, Yuemei; Yan, Maojun; Liu, Tao (2021) Integrated effects of *Ulva prolifera* bloom and decay on nutrients inventory and cycling in marginal sea of China. In : *Chemosphere*, vol. 264, p. 128389. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128389.
- Zhang, Xiaowen; Chi, Xiaoyuan; Wang, Yitao; Zhang, Jian; Zhang, Yan; Xu, Dong et al. (2020) Characterization of a broad substrates specificity acyl-CoA: Diacylglycerol acyltransferase 1 from the green tide alga *Ulva prolifera*. In : *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 39, n° 10, p. 42–49. DOI: 10.1007/s13131-020-1659-0.
- Zhao, Shibin; Xu, Bochao; Yao, Qinzhen; Burnett, W. C.; Charette, M. A.; Su, Rongguo et al. (2021) Nutrient-rich submarine groundwater discharge fuels the largest green tide in the world. In : *Science of The Total Environment*, vol. 770, p. 144845. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144845.



ZHENG, H. Y.; LIU, Z.; CHEN, B.; XU, H. (2020) Quantitative *Ulva prolifera* bloom monitoring based on multi-source satellite ocean color remote sensing data. In : *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 18, n° 4, p. 4897–4913. DOI: 10.15666/aeer/1804_48974913.

Zhong, Zhihai; Wang, Yong; Qin, Song; Song, Wanlin; Zhuang, Longchuan; Zhao, Zhifang et al. (2020) High temperature promotes the inhibition of Zn²⁺ to physiological performance of green tide-forming seaweed *Ulva prolifera*. In : *Acta Ecologica Sinica*. DOI: 10.1016/j.chnaes.2020.10.009.

Zhou, Yingdong; Li, Mei; Chen, Yaguang; Hu, Changwei (2020) Conversion of polysaccharides in *Ulva prolifera* to valuable chemicals in the presence of formic acid. In : *Journal of Applied Phycology*. DOI: 10.1007/s10811-020-02146-9.

Zhuang, Minmin; Liu, Jinlin; Ding, Xiaowei; He, Jianzong; Zhao, Shuang; Wu, Lingjuan et al. (2021) *Sargassum* blooms in the East China Sea and Yellow Sea. Formation and management. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 162, p. 111845. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111845.