

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 2021-2022

Juillet 2022

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	2
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	19
2.5.1. Contexte et objectif.....	19
2.5.2. Matériel et méthodes.....	19
2.5.3. Résultats	19
3. Conclusion – perspectives	37
ANNEXES.....	39
Bibliographie.....	43



TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

- Figure 1 (a) et (b) : 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 3 cours d'eau du fond de baie de Saint Brieuc : Gouessant, Urne, Gouet + l'Horn + le Guillec). Seules certaines années ont été sélectionnées sur ces graphiques, ainsi que les moyennes pluriannuelles 2002-2020 et 2010-2020 (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 20 % supérieur à la moyenne 2010-2020 (excédents très élevés en octobre - +150 %- , décembre et janvier) ; sur la période sensible « mai-août » le flux est sensiblement inférieur à la moyenne 2010-2020 (- 24 % ; mai étant le plus déficitaire avec -40 % et juillet légèrement excédentaire avec + 4 %). Ces « valeurs régionales » sont cependant très variables selon les territoires (très fort excédent sur l'est des Côtes d'Armor à partir de juin). 6
- Figure 3 : Evaluation des flux d'azote inorganique de chaque BV estimés sur l'année en moyenne 2002-2021 (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 2002-2021 de 3 920 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 2002-2021 sur « mai-août » est estimé à 670 T. 6
- Figure 4 : Flux annuel spécifique moyen (2002-2021) 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. 7
- Figure 5 : Pluviosité sur les stations Météo France suivies entre le 15 juin et le 13 juillet 2021 comparée au niveau moyen juin-juillet des années 1981-2010 8
- Figure 6 : Ecart, par BV, entre flux d'azote inorganique dissous sur mai-août 2021, juin-août 2021, détail sur chacun des mois de mars à septembre et somme sur octobre 2020-septembre 2021 et les flux pluriannuels 2010-2020. Les différences observées s'expliquent principalement par les différences locales de pluviosité et les contextes géologiques locaux. 9
- Figure 7 : 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 Brieuc. 10
- Figure 8 : 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 9 : 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. 12
- Figure 10 : 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 (cercle vert) comme de 2021 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 11 : 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 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 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 l'hiver le moins dispersif et parmi les plus lumineux. 14

Figure 12 (a), (b), (c) et (d) : caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle NWW3 /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et septembre 2021 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff (mise à jour après rédaction du bulletin du 16 avril)) ; (d) pourcentage d'écart en nombre d'heures d'ensoleillement sur les stations MétéoFrance littorales suivies pour ce bulletin (avril 2021 : données non présentées mais excédent important sur les 15 premiers jours). 15

Figure 13 : ensoleillement sur l'hiver 2020-2021 au 1^{er} mars sur les stations Météo-France 16

Figure 14 : données de température de l'eau entre 2000 et mars 2022 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff)..... 16

Figure 15 (a) et (b) : (a) houle du modèle NWW3 à 100 km /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes données mais seuillées au-dessus de 3.5 m. 16

Figure 16 : estimation des biomasses en ulves sur la baie de Saint Michel en Grève utilisée comme « baie de référence » régionale pour la précocité..... 18

Figure 17. Schéma conceptuel de la détection des blooms de Sargasses ou d'ulves à partir d'une méthode en plusieurs étapes. 20

Figure 18. Cartographie des variations de biomasses dans les échouages d'algues vertes en combinant les techniques multispectrale et radar satellitaire. 21

Figure 19. Modèle conceptuel du modèle FMGDM avec l'ensemble des paramètres physico-chimiques et hydrodynamiques utilisés..... 22

Figure 20. Processus pour identifier les points chauds de présence de 6 espèces d'algues envahissantes. 23

Figure 21. Cartographie des échouages d'algues vertes à partir du NDVI appliqué aux images Landsat sur les secteurs de Saint-Brieuc (Morieux+Yffiniac, A) et Saint-Michel-en-Grève et Locquirec (B). 24

Figure 22. Evolutions surfaciques annuelles des échouages d'algues vertes et comparaison entre les analyses d'images satellitaires et les données du CEVA. 24

Figure 23. Schéma synthétique des résultats obtenus par Li et al. (2021) 26

Figure 24. Variations spatiales des flux de NH₄⁺ (en rouge) et PO₄ (en vert) sur 45 sites échantillonnés en vasière en Bretagne. 27

Figure 25. Cellules d'algues vertes soumises à un stress de température et luminosité (thalles séchés puis conservés à -20°C, à l'obscurité pendant 30 jours). (1) t₀ : cellules vivantes, (2, 3 et 4) mortalité des cellules après jusqu'à 120 jours de traitement. (5 à 10) régénération des cellules dans un milieu de culture favorable après 10 à 60 jours. (11 et 12) Formation d'un nouveau thalle. 28

Figure 26. Evolution des biomasses d'algues vertes dérivantes (a) et de leur taux de croissance (b) en fonction du temps selon 2 sites différents (courbes rouges ou noires) et selon 2 condition différentes (avec pression de broutage R et Q et sans pression de broutage R' et Q'). (c) évolution des biomasses des fragments d'algues vertes et leurs taux de croissance en fonction du temps (d)..... 29

Figure 27. Synthèse de la méthodologie et des résultats obtenus par Gong et al. (2021) 31

Figure 28. Schéma et photographie du système de traitement développé par Liu et al. (2021) 31



Tables

Tableau 1. Synthèse des six études ayant réalisé l'analyse moléculaire d'Ulva spp. entre mars 2021 et mars 2022.....	36
--	----



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 2021 sur une période de 12 mois (15 mars 2021 au 15 mars 2022).

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 2021 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 (RCO Bretagne). Ce programme n'est plus en maîtrise d'ouvrage du CEVA 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 2021, 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 4 années précédentes, le programme 2021 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 prolifération d'algues vertes observée. En 2021, en plus de ces actions, le CEVA a réalisé une évaluation des stocks de reproduction 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 2021 à mars 2022, ces interventions répertoriées représentent un volume très important en 2021 avec plus de 160 interventions listées.

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

En 2021 encore, les demandes ont été très nombreuses de la part des médias. Cela a été notamment causé par la forte précocité des proliférations sur l'Est des Côtes d'Armor mais aussi sur les vasières du Sud Bretagne. Les différents rapports et commissions (Cour des Comptes, commission des finances du Sénat, HCSP) ont également généré de fortes demandes de la presse. Enfin l'OEB et les associations et de



nombreux travaux d'étudiants ont impliqué de nombreuses interventions. En 2021, cette action d'« information » regroupe 60 interventions dont plus de la moitié concerne la presse.

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 ou 2021 mais tardive ailleurs doivent donc pouvoir être expliquées et partagées en lien avec les mécanismes sous-tendant les proliférations. La précocité de la Baie de Saint Briec et de la Fresnaye alors que les autres baies étaient retardées (97 % de la surface mesurée en avril+mai 2021) a engendré beaucoup de demandes et des explications sur cette « anomalie » qui est bien liée à des particularités de ces sites (flux 2020 et reports importants de stocks). Tout comme la précocité, encore très forte en 2021, des proliférations sur les vasières du Golfe et de la Ria d'Étel qui est liée avant tout aux paramètres annuels (ensoleillement en sortie d'hiver, température de l'eau) et possiblement aux reports pluriannuels, mais pas spécifiquement aux flux de l'hiver ou début de printemps.

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 leurs rédactions rapides (rédaction « brute » 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 2021 le 17/01/2022 consolidé le 03/02/2022 puis 08/03/2022 et le 01/04/2022).

Outre l'édition de bulletins d'information sur l'évolution de la prolifération, l'action d'appui aux collectivités a représenté plus de 70 interventions formelles en 2021. 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 2021 ont concerné les SAGEs en particulier des baies concernées par le PLAV (définition des objectifs à atteindre en flux), mais aussi des secteurs de vasières (Rance, Golfe, Ria d'Étel, Morlaix/Penzé) et d'autres collectivités (diagnostic baignade, vulnérabilité conchylicole, ...). En plus des SAGEs ou autres comités, plusieurs groupes techniques ont fait l'objet d'interventions (flux en Rance, flux et objectifs pour le Golfe et la Ria d'Étel, flux en rivière de Morlaix/Penzé, définition des secteurs à équiper de capteurs H₂S, étude Moulin de la Rive, OFB et putréfaction en baie du Mont Saint Michel). Plusieurs comités (comité France Océan, Cour des Comptes, Commission finances du Sénat, commission



littorale de l'AELB, audition HCSP) ont demandé l'intervention du CEVA. A noter aussi de nombreuses réunions (8) du groupe d'appui scientifique au PLAV, le séminaire régional sur les études Algues Vertes et la journée spéciale algues vertes sur vasière pour l'APPCB.

Cette action a représenté en 2021 plus de 70 réunions ou interventions 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 2021 environ 30 réunions. Le plus grand nombre d'interventions est lié au dossier « ramassage innovant ». Rencontre et analyse de propositions d'entreprises qui estiment avoir des solutions adaptées au ramassage en mer ou à la valorisation d'algues. Réflexion avec SBAA, la Mire et la Préfecture des Côtes d'Armor sur les propositions puis contribution à la définition d'un cahier des charges pour une expérimentation en 2022. Analyse des propositions puis participation au comité de pilotage de l'expérimentation (chantier Efinor retenu pour construire et mettre en œuvre le navire de collecte d'algues en rideau).

A noter que les moyens humains limités pour répondre aux demandes ont parfois impliqué, comme les années précédentes, des réponses succinctes ou différées dans le temps. Il semble néanmoins que l'absence du CEVA sur certaines rencontres ou les réponses parfois succinctes ou différées n'ont 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).

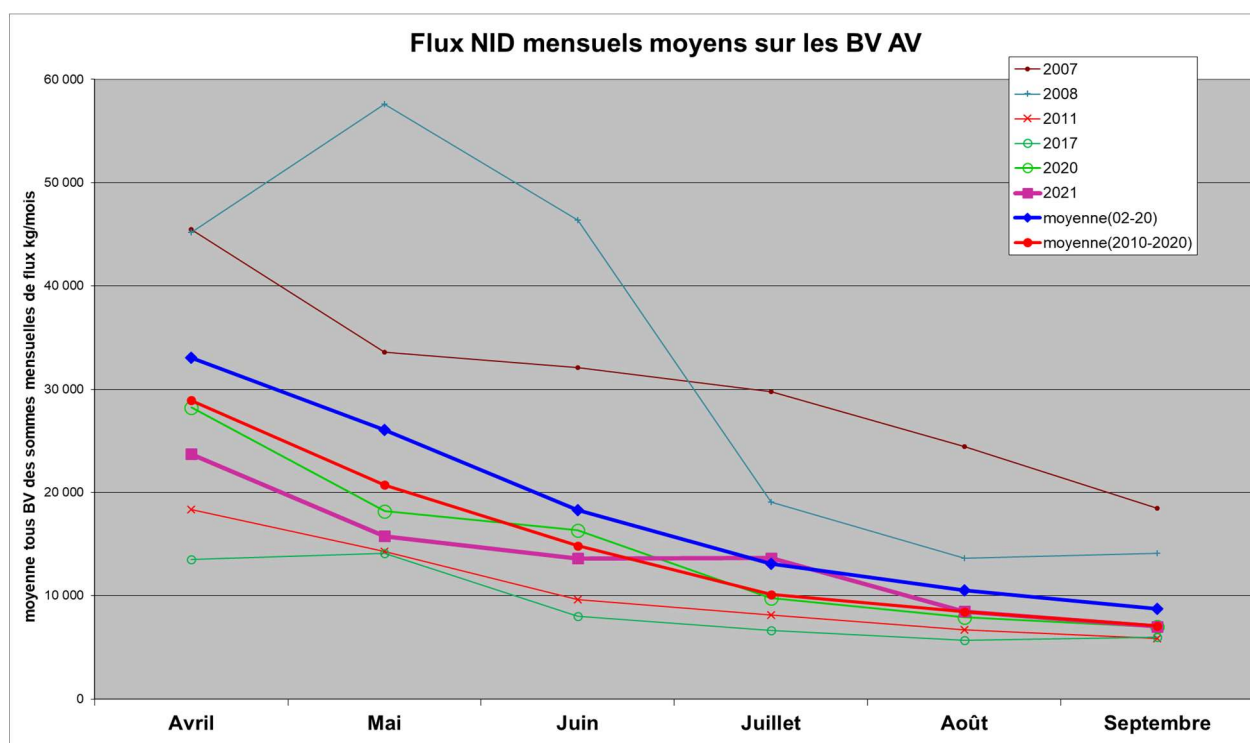
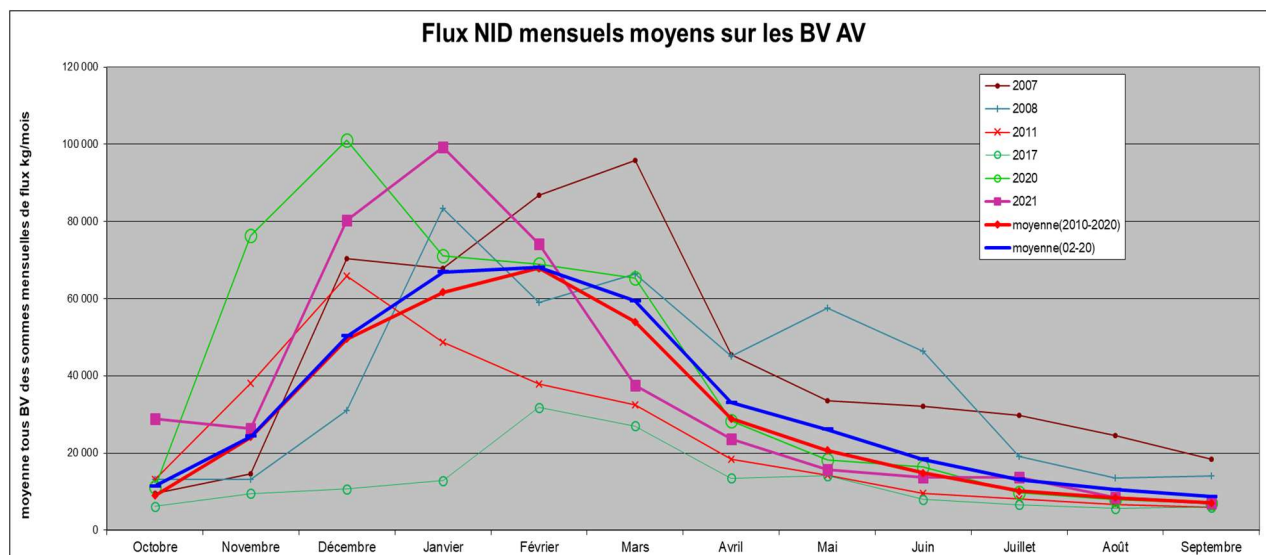


Figure 1 (a) et (b) : Flux moyens mensuels à l'exutoire des bassins versants concernés par les principales proliférations (moyenne des flux mensuels des 7 cours d'eau alimentant les sites du programme « Prolittoral 2002-2006 » + les 3 cours d'eau du fond de baie de Saint Briec : Gouessant, Urne, Gouet + l'Horn + le Guillec). Seules certaines années ont été sélectionnées sur ces graphiques, ainsi que les moyennes pluriannuelles 2002-2020 et 2010-2020 (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.

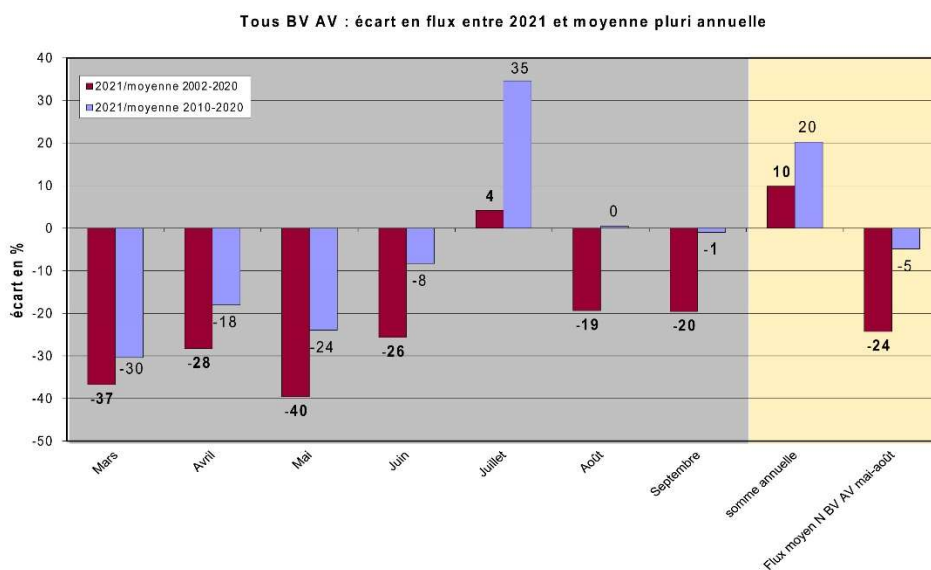


Figure 2 : Ecart de flux mensuel, annuel et saisonnier aux exutoires des BV AV par rapport aux années antérieures (moyenne des sommes mensuelles pour tous les BV). Sur l'ensemble de la période annuelle le flux est de 20 % supérieur à la moyenne 2010-2020 (excédents très élevés en octobre +150%, décembre et janvier) ; sur la période sensible « mai-août » le flux est sensiblement inférieur à la moyenne 2010-2020 (-24% ; mai étant le plus déficitaire avec -40% et juillet légèrement excédentaire avec +4%). Ces « valeurs régionales » sont cependant très variables selon les territoires (très fort excédent sur l'est des Côtes d'Armor à partir de juin).

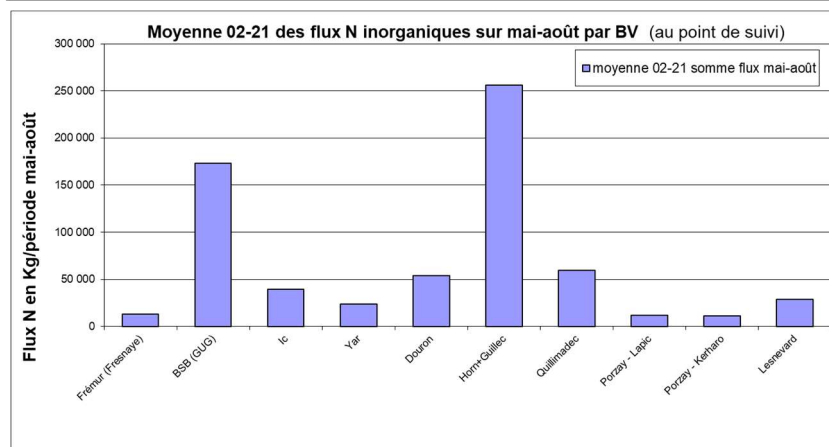
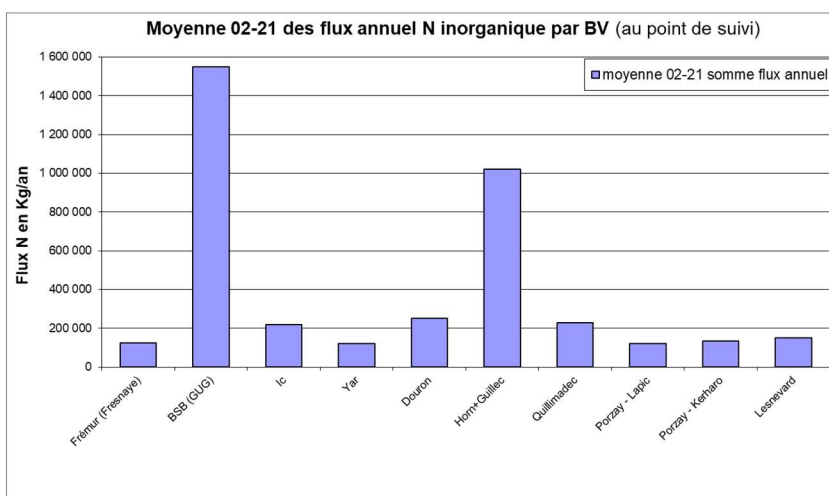


Figure 3 : Evaluation des flux d'azote inorganique de chaque BV estimés sur l'année en moyenne 2002-2021 (Figure 3a) pour la partie du BV suivie (point exutoire du cours d'eau ; ce qui peut être assez différent du flux total du BV dans le cas où plusieurs cours d'eau drainent les BV mais qui permet de visualiser la part de chaque cours d'eau au flux total régional moyen sur 2002-2021 de 3 920 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 2002-2021 sur « mai-août » est estimé à 670 T.

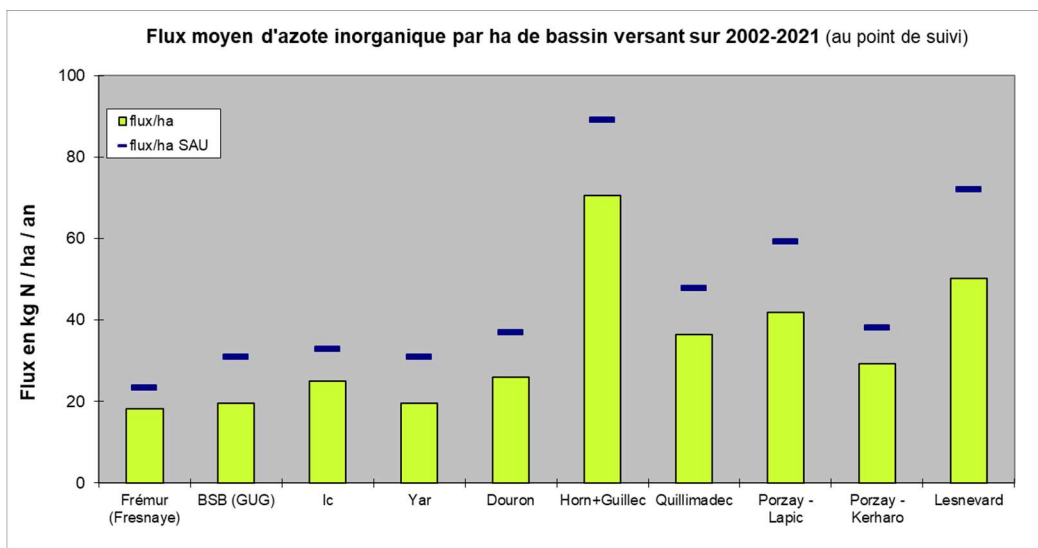


Figure 4 : Flux annuel spécifique moyen (2002-2021) d'azote inorganique de chaque BV (pour la partie du BV suivie ; point exutoire du cours d'eau, idem aux Figures 3 a et b). On perçoit des flux spécifiques (par ha de BV ou par ha de SAU) particulièrement importants sur l'Horn+Guillec et sur les cours 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.

Le flux de l'année hydrologique 2021 (Figure 2) est, comme en 2020 mais à un niveau moindre, excédentaire par rapport à la situation moyenne (+ 20 % par rapport à 2010-2020 et +10 % par rapport à 2002-2020). Cet excédent annuel est lié à des situations mensuelles assez contrastées : très fort excédent en octobre 2020 (+ 220 % par rapport à 2010-2020), encore élevé en décembre et janvier (+ 60 %) et plus proche des moyennes en novembre et février (environ + 10 %). Ces excédents « automne/hiver » sont surtout liés à des précipitations excédentaires (Figure 7 ; entre 15 et 50 % d'excédent pluviométrique sur octobre 2020 – février 2021, suivant les stations). La faible pluviosité à partir de février (entre - 15 % à Brest et - 70 % sur Dinard) explique ensuite la forte diminution des flux qui deviennent déficitaires en mars (- 37 % par rapport à la moyenne 2010-2020) et le restent jusqu'en juin. **Sur la « période la plus sensible » aux proliférations, le flux moyen mesuré à l'exutoire des cours d'eau suivis apparaît inférieur à la moyenne pluriannuelle** (- 24 % par rapport à 2010-2020 et - 5 % par rapport à 2002-2020). Cela est lié à des flux en mars à juin inférieurs aux moyennes qui ne sont pas contrebalancés par des flux « moyens » ou légèrement excédentaires en juillet – août. Ce niveau « régional estimé » masque des **réalités locales très contrastées**. Ainsi, sur la période « sensible » les flux sont-ils **très excédentaires** (Figure 6) sur l'est des Côtes d'Armor (+ 75 % et + 25 % sur le Frémur et la baie de Saint-Brieuc et même + 175 et + 75 % si l'on se concentre sur la période « cruciale » juin-août) quand les **cours d'eau plus à l'ouest montrent des situations de déficit de flux** (de - 15 % sur le Yar à - 35 % sur le Kerharo pour mai-août). Ces réactions en débit et concentration sont, elles-mêmes, liées au contexte géologique local (BV schisteux, plus réactifs à l'est Bretagne) mais aussi à **des pluviosités d'orage** entre mi-juin et mi-juillet (Figure 5) très inégalement réparties avec notamment des pluies très excédentaires sur l'est des Côtes d'Armor (entre le 15 juin et le 13 juillet, la station de Dinard enregistre 166 mn de pluie contre une normale de juin et de juillet de 49 mn soit des quantités de pluie 3.4 fois plus importantes que la normale ; situation quasiment identique sur la station de Saint Brieuc alors que sur les stations de l'ouest Bretagne l'excédent n'était que de 75 à 80 %).

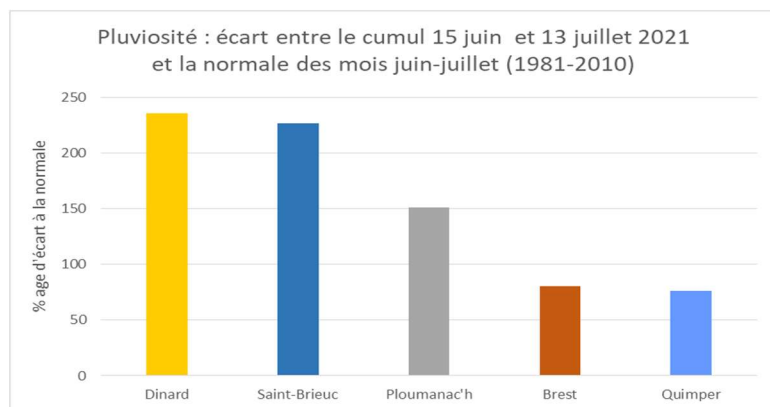


Figure 5 : Pluviosité sur les stations Météo France suivies entre le 15 juin et le 13 juillet 2021 comparée au niveau moyen juin-juillet des années 1981-2010

La Figure 7 (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 6 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 (re-fertilisation importante à une période clé). D'après les spécialistes « changement climatique » de météo France, cette situation relève pourtant du « hasard » et n'est pas une tendance liée au changement global (situation qui n'est pas prévue dans les différents modèles du changement climatique).

Ces fortes pluies ont donc **engendré des débits et flux élevés en fin juin et sur les mois de juillet, août et même septembre** sur la **baie de Saint Brieuc et l'Est des Côtes d'Armor**. Alors que les cours d'eau plus à l'ouest, malgré des remontés des débits à partir de juillet sont, pour la plupart, restés chaque mois en dessous des moyennes pluriannuelles de flux d'azote.

Il convient d'ajouter, qu'outre les réactions en débits des différents cours d'eau à ces pluviosités (en fonction notamment des caractéristiques géologiques, les BV granitiques ayant des réactions plus tamponnées que les BV schisteux, plus réactifs aux pluies), l'évolution des teneurs moyennes en nutriments azotés ces dernières années joue également sur les séries de référence de flux (en particulier par rapport à 2002-2020 avec une baisse, sur tous les cours d'eau, marquée des concentrations des dernières années par rapport à cette moyenne).

La distribution des 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 pédo-géologiques différents.

Les situations nutritionnelles sont donc, encore en 2021, différentes selon les secteurs avec toutefois des flux qui étaient partout **bas en tout début de saison** (mars à mai : flux inférieurs aux moyennes, mais période a priori toujours au-dessus des limitations nutritionnelles) **et un niveau qui devient élevé en fin juin sur les baies des Côtes d'Armor** (baie de Saint Brieuc et de la Fresnaye) en lien avec des orages intenses après le 16 juin et jusqu'au 11 juillet. Alors que les flux sont restés proches des moyennes (Yar) ou même inférieurs à la moyenne sur les BV de l'ouest.

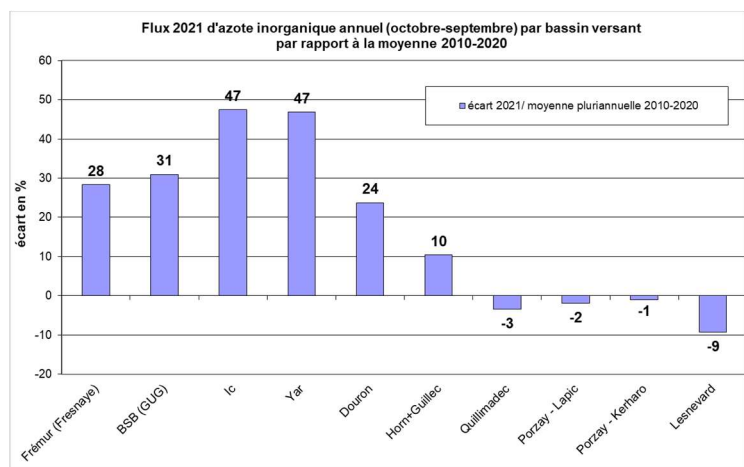
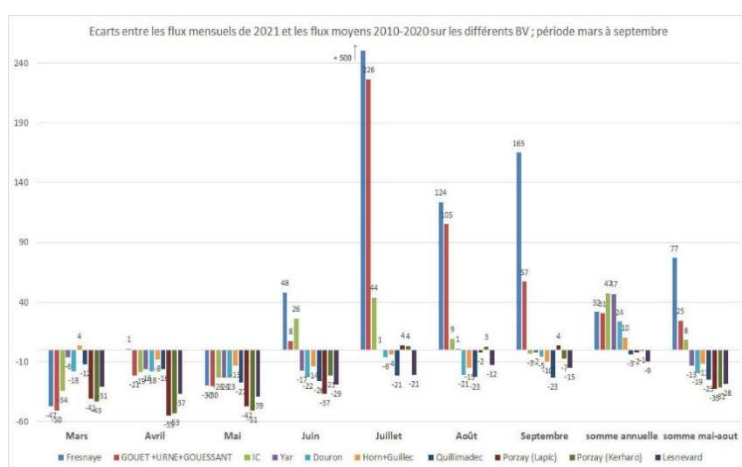
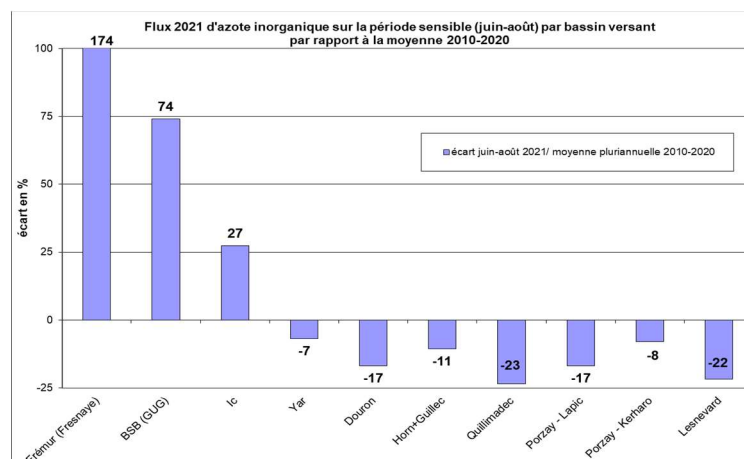
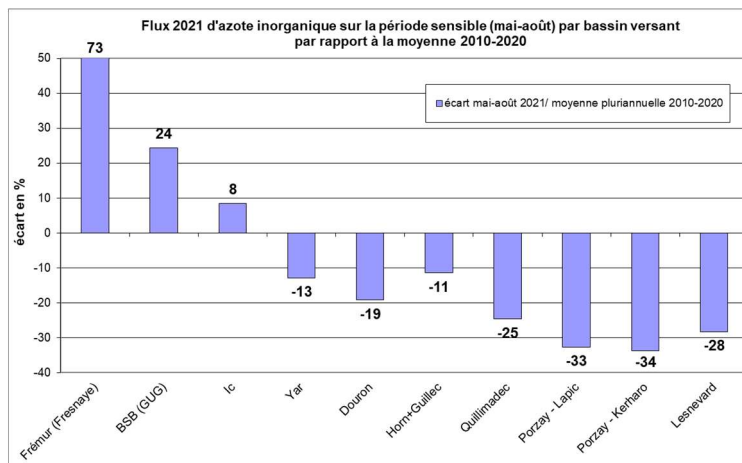


Figure 6 : Ecarts, par BV, entre flux d'azote inorganique dissous sur mai-août 2021, juin-août 2021, détail sur chacun des mois de mars à septembre et somme sur octobre 2020-septembre 2021 et les flux pluriannuels 2010-2020. Les différences observées s'expliquent principalement par les différences locales de pluviosité et les contextes géologiques locaux.

La Figure 7 (a) présente la pluviosité sur 2020/2021 par rapport aux normales (1981-2010). Logiquement les niveaux de pluviosité jouent directement sur les écoulements et flux présentés plus haut. La Figure 7 (b) permet de percevoir un **ensoleillement fortement excédentaire de février à avril pour Saint Brieuc et Dinard** (jusqu'à 80 % d'heures de soleil en plus sur avril pour Dinard soit **plus que le niveau moyen de juin ou juillet**) et sur l'ensemble des stations sur les mois de mars et avril (et également sur janvier pour les stations de l'ouest). Pour cette période de l'année durant laquelle la lumière est a priori (avec la température) le facteur le plus limitant, **ces excédents d'ensoleillement sont très impactants** sur les croissances algales. Logiquement l'ensoleillement, sur les mois de mai à août était plutôt déficitaire, ces mois ayant été pluvieux.

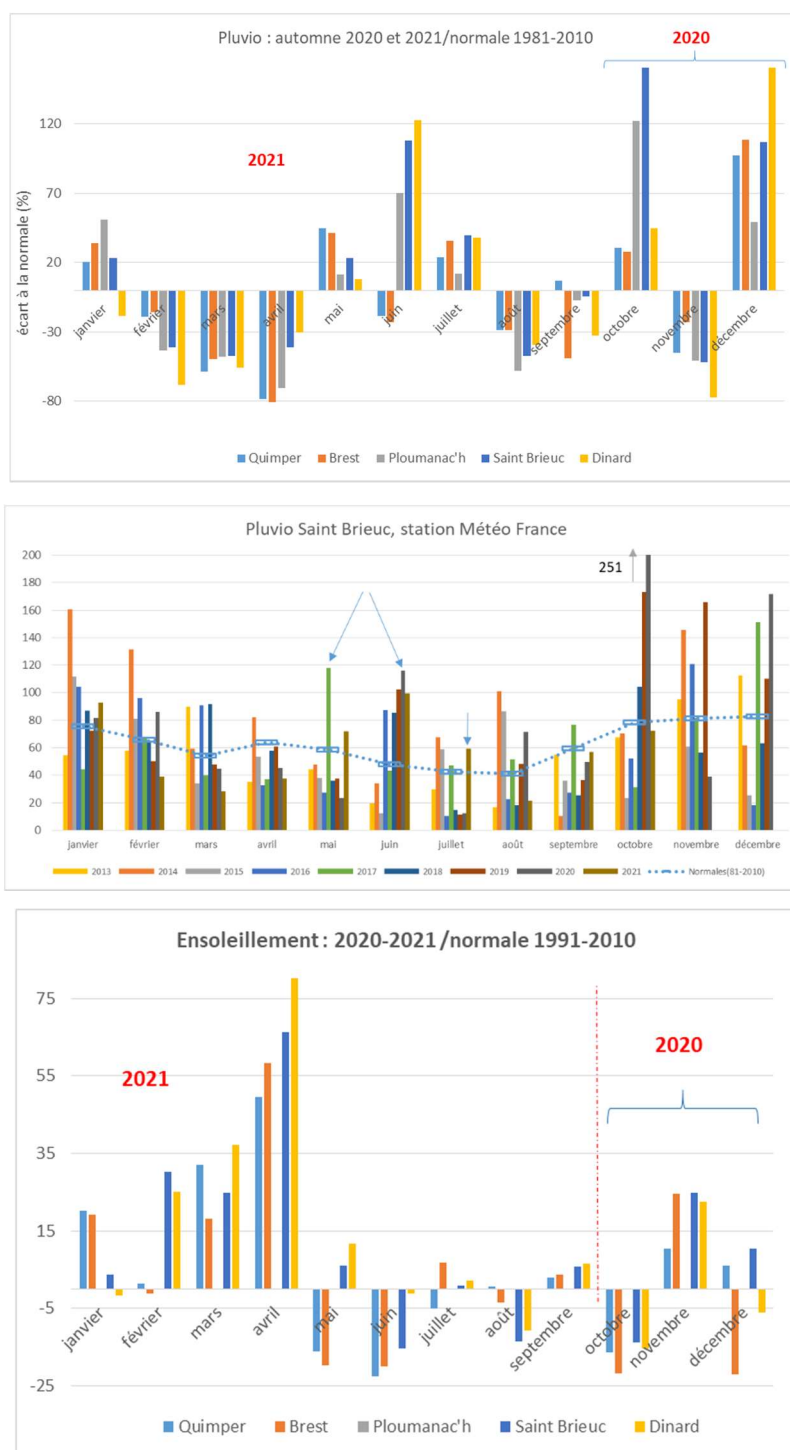


Figure 7 : Données MétéoFrance sur les différentes stations, en pluviosité (a) et en ensoleillement (c) ; pas de donnée disponible sur Ploumanac'h). Figure 6 (b) : pluviosité mesurée par MétéoFrance sur la station de Saint Brieuc.

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 2021 (année hydrologique), après une année 2020 avec des concentrations en nitrate en augmentation, **une légère baisse est observée sur la plupart des cours d'eau** (Figure 8). 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 diminution entre



2020 et 2021 de 3.6 % (29.8 mg/l en 2021 contre 30.9 mg/l en 2020) ce qui situe l'année 2021 quasiment au même niveau que 2019 (29.6 mg/l). Ces fluctuations des concentrations sont à analyser en tenant compte de l'importance des débits, les années de débits plus importants ayant tendance à provoquer des augmentations de concentration (surtout sur les BV schisteux). 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).

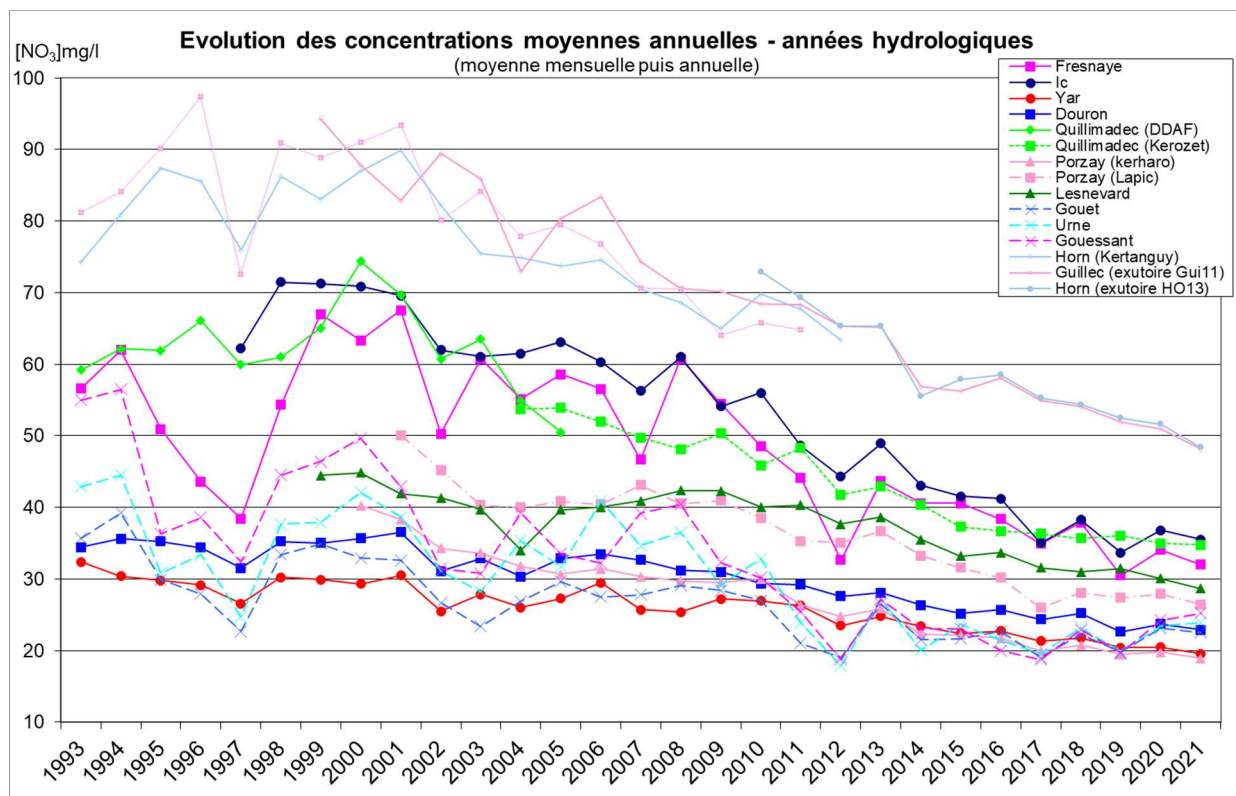


Figure 8 : Evolutions des concentrations en nitrates sur les cours d'eau suivis (moyennes mensuelles puis annuelles afin d'avoir le même poids pour chaque mois de l'année), sur tous les cours d'eau intégrés au suivi dans le cadre de ce rapport

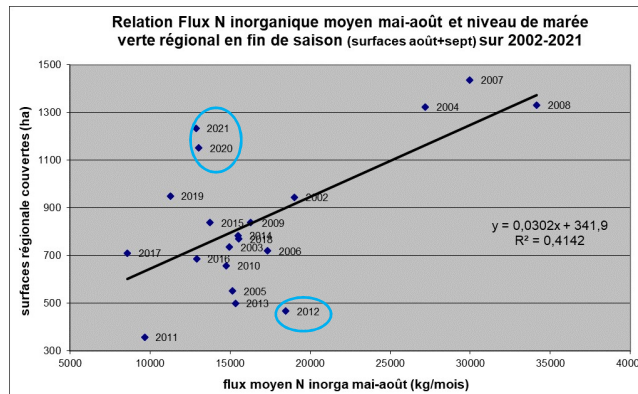
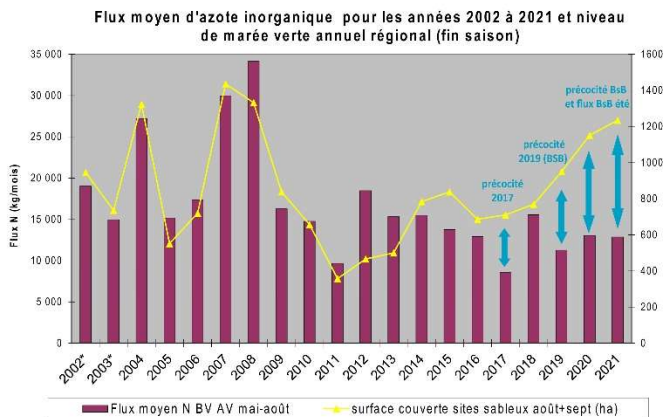
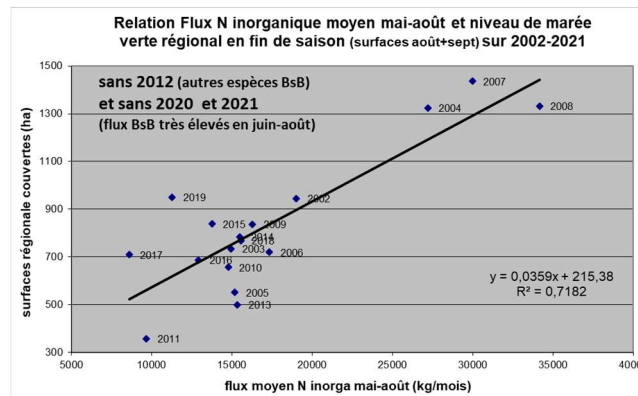


Figure 9 : Flux d'azote sur la période sensible (moyenne des flux de mai à août sur 8 baies du PLAV) et niveau de surfaces couvertes par les algues vertes en fin de saison (surface en août + septembre sur les plages bretonnes). Les surfaces couvertes par des algues brunes (ou rouges) filamenteuses notamment 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.



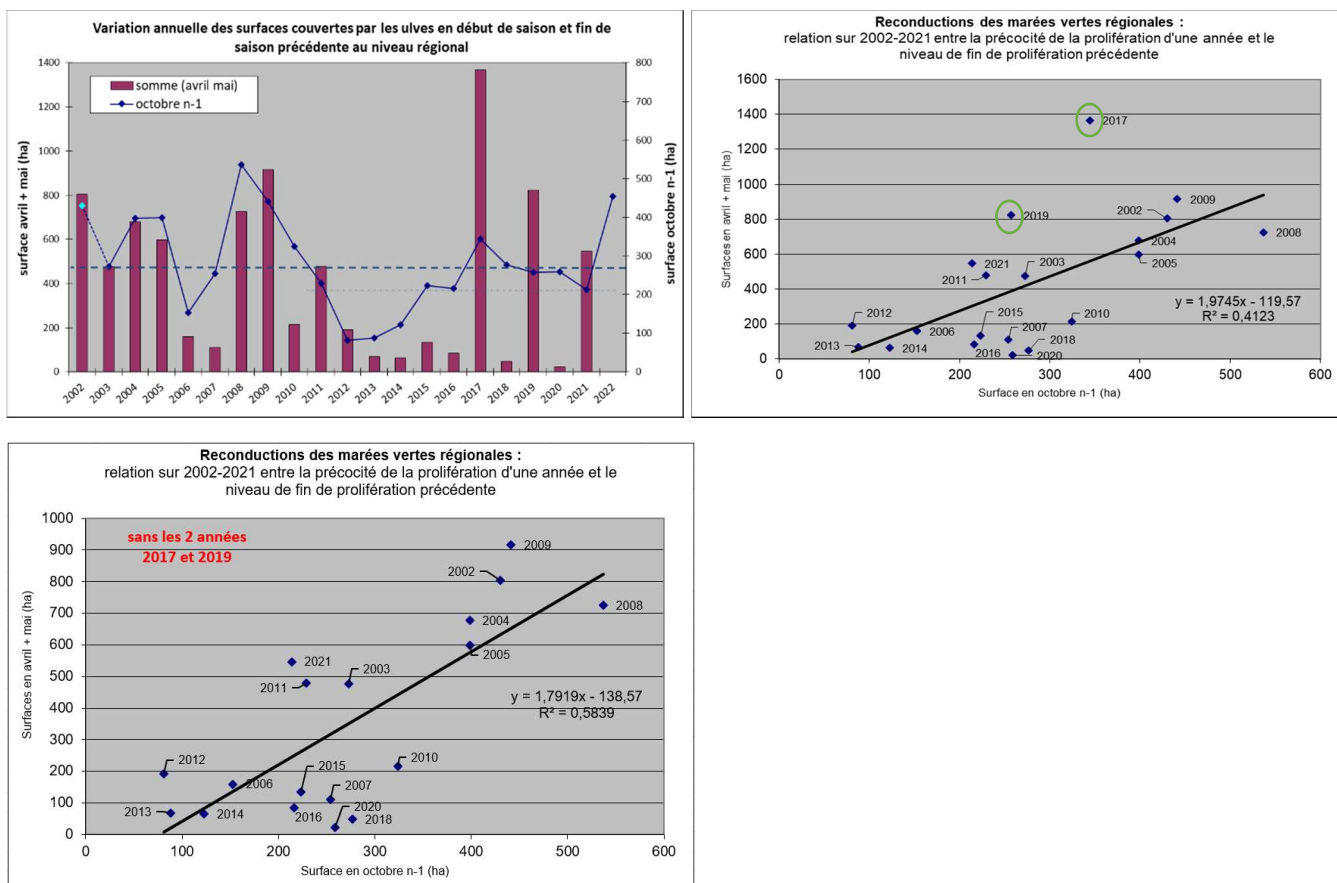


Figure 10 : Surfaces couvertes par les ulves en début de saison (avril+mai) et lien avec le niveau de couverture de la fin de l'année n-1. Les niveaux plus faibles qu'attendus en 2006, 2007, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016, 2018 et 2020 s'expliquent par : des températures de l'eau plus froides en hiver/printemps 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 (cercle vert) comme de 2021 est liée à une forte précocité en baie de Saint Brieuc 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 9 et Figure 10 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 pour ce qui est des orages estivaux) conduisent à des niveaux relatifs des apports qui peuvent être très différents selon les secteurs. De plus, le poids en surface ainsi que la plus ou moins forte saturation des sites vis-à-vis des flux d'azote impliquent alors, suivant les baies, des réactions différentes aux flux annuels (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 Brieuc, vaste baie concentrant en moyenne 53 % 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 2021**, le 16 avril 2021, les éléments ci-dessous étaient proposés :
- 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.



Figure 11 : 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 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 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 l'hiver le moins dispersif et parmi les plus lumineux.

- **La température de l'eau serait proche de la situation moyenne**, plutôt élevées en février (dernière valeur SOMLIT disponible le 5 février) devenant probablement plutôt basses (données satellitaires « qualitatives ») ; **(ajout après la campagne, une fois toutes les données disponibles... : sur l'hiver les valeurs ont été très proches de la situation moyenne devenant inférieures en mai puis juin)**,
- **L'hiver** (novembre à mars) **relativement peu dispersif**. Les jours de houle utilisés pour qualifier la dispersion (modèle NWW3 à 100km) donnent : **un niveau légèrement inférieur à la moyenne pour les jours de houle de + de 2.5 m (- 5 %)** ; mais très inférieur sur les épisodes les plus dispersifs (**- 50 % 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 **« neutre » pour les sites facilement « dispersés »** (petite taille, exposés à des houles puissantes).
- **L'ensoleillement** a été, sur toutes les stations météo suivies, **nettement supérieur aux normales sur le début 2021** (janvier-mars) : **plus de 20 % d'excédent sur toutes les stations, excepté Brest (+ 13 %)**. **Sur février-mars, l'excédent sur les stations des Côtes d'Armor a même été compris entre 25 et 35 % et la première quinzaine d'avril est également particulièrement lumineuse** (l'équivalent de 100 % des heures d'ensoleillement mensuelles sur 15 à 20 jours). **La pluviométrie, très supérieure aux normales en octobre et décembre est devenue déficitaire du 1^{er} janvier au 15 avril.**
- **Les différents paramètres sont donc assez divergents : stocks de reconduction** (octobre) **plutôt bas, houle modérée** (surtout pour les épisodes les plus dispersifs), **ensoleillement de sortie d'hiver abondant** (période durant laquelle ce paramètre est souvent limitant). **Ces paramètres laissent donc envisager un démarrage précoce sur les secteurs les plus abrités et une croissance rapide pour les sites sur lesquels les ulves sont présentes.**

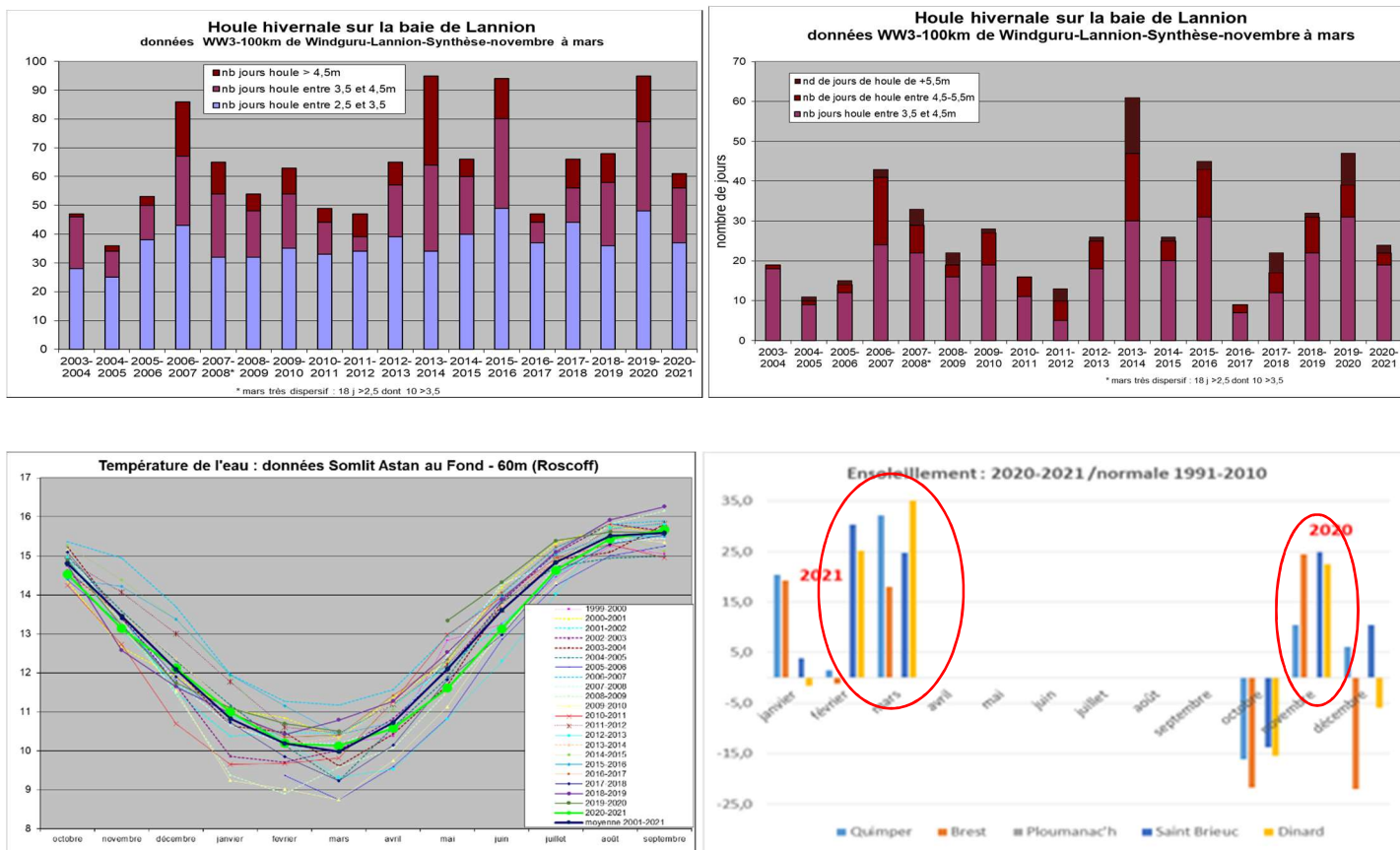


Figure 12 (a), (b), (c) et (d) : caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle NWW3 /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et septembre 2021 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff (mise à jour après rédaction du bulletin du 16 avril)) ; (d) pourcentage d'écart en nombre d'heures d'ensoleillement sur les stations MétéoFrance littorales suivies pour ce bulletin (avril 2021 : données non présentées mais excédent important sur les 15 premiers jours).

✓ **Concernant la précocité de démarrage 2022**, le 1^{er} avril 2022 (mise à jour du pré-bilan du 3 février) les éléments suivants étaient proposés sous forme de « pré bilan 2021 / perspectives 2022 » :

- les stocks présents en automne 2021 **sont très élevés**. En octobre les surfaces mesurées sur l'ensemble des sites étaient de **68 % supérieures au niveau de 2002-2020**. Cela est surtout le fait de la situation en **baie de Saint Brieuc, de Binic, et de la Fresnaye** qui totalisent 83 % de la surface des sites bretons en octobre. En revanche, **peu de surface en octobre sur les baies de la Forêt, Douarnenez, Saint Michel en Grève**. Pour ce qui est de la baie de Saint Brieuc, dont le démarrage dépend fortement du niveau des stocks en entrée d'hiver, la situation est donc assez défavorable (surface d'octobre 92 % au-dessus de la moyenne 2002-2020). La baie de la Fresnaye présentait elle aussi des surfaces très importantes (4 fois le niveau pluriannuel et proche du niveau des 4 années de forte reconduction).
- la dispersion hivernales sur novembre à mars (analyse « régionale sur les données Windguru GFSwaves au nord de Lannion) indique **un hiver proche du précédent** : même nombre de jours de + de 2.5 m (mais plus de jours de + de 4.5m). Par rapport à la série 2003-2021, l'hiver 2021-2022 est conforme au **niveau moyen** sur les jours de + 2.5 m (-1 %) ; mais présente **moins de jours de +3.5 m (-16 %)**. L'hiver est donc « **moyennement dispersif** » à « **plutôt calme** ». Cela pourrait donc induire une dispersion suffisante pour les sites les plus exposés et les plus petits mais plus limitée pour les sites moins exposés (Baie de Saint Brieuc et Fresnaye) et plus vastes, d'autant que ces mêmes sites étaient très chargés en octobre 2021.



- La **température hivernale de l'eau** (estimée sur Astan, réseau Somlit à 60 m de fond) est restée **supérieure aux moyennes pluriannuelles** (+ 0.6 °C en mars), donc ne peut impliquer de retard de démarrage sur le printemps. Après des mois de décembre à février plutôt sombres, **l'ensoleillement en sortie d'hiver est partout supérieur aux normales**, et plus particulièrement en mars sur l'ouest Bretagne (en mars : + 33 % d'heure de soleil sur St Brieuc et Dinard ; + 45 % sur Brest et Quimper). Ce paramètre est **donc favorable au redémarrage** (paramètre habituellement limitant à cette saison) **printanier sur les sites qui ont gardé des stocks d'ulves**.

Les paramètres rassemblés sont donc proches de ce qui avait été estimé pour 2021. Une dispersion proche de la moyenne mais plutôt inférieure, qui expliquerait un maintien des stocks de reconduction des sites les moins exposés et les plus vastes et présentant des biomasses importantes à l'automne : cas surtout de la baie de la Fresnaye et de la baie de Saint Brieuc. En outre, les températures de l'eau sont restées favorables à un démarrage précoce tout comme l'ensoleillement sur la sortie d'hiver, ce qui pourrait engendrer une croissance rapide des algues des sites ayant maintenu des stocks de reconduction. Les sites les plus exposés et plus petits (donc plus « facilement destockables ») étaient concernés par des biomasses plus faibles en automne 2021 et pourraient, comme l'année précédente présenter un démarrage plutôt tardif.

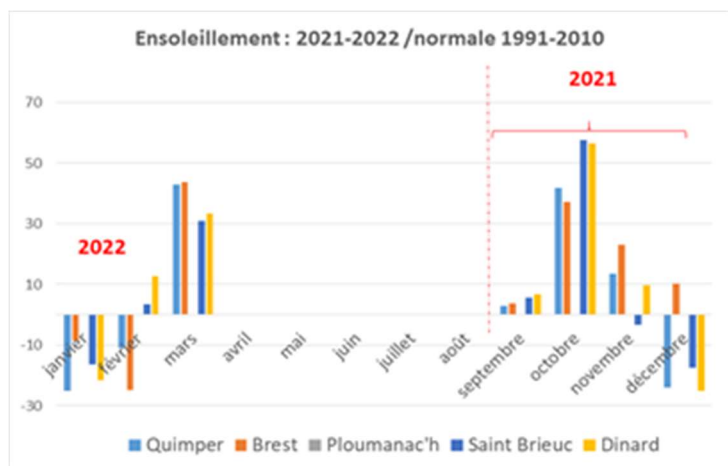


Figure 13 : ensoleillement sur l'hiver 2020-2021 au 1^{er} mars sur les stations Météo-France

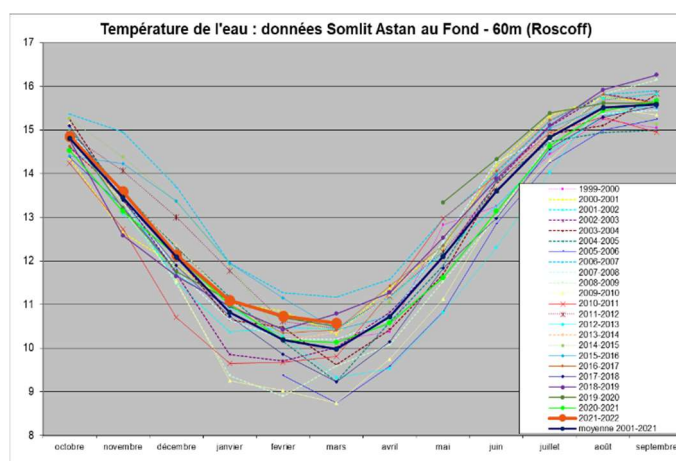


Figure 14 : données de température de l'eau entre 2000 et mars 2022 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff)

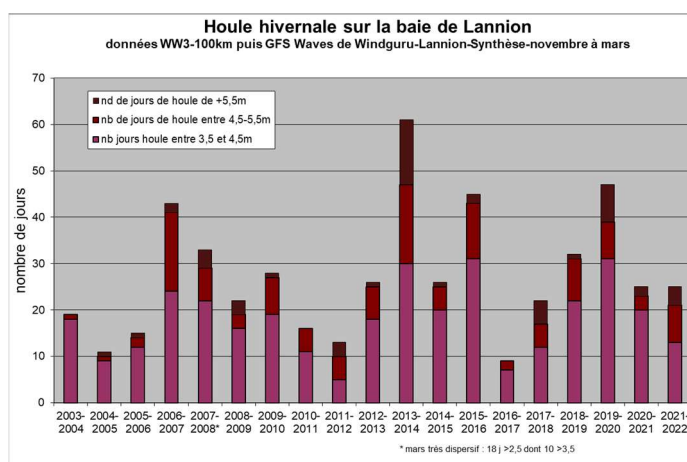
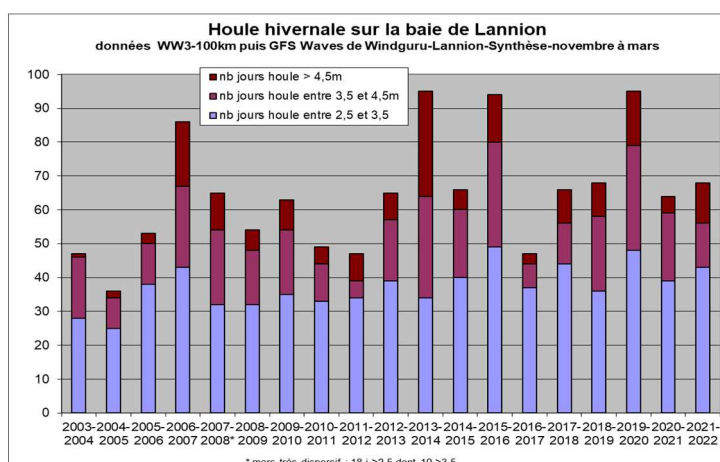


Figure 15 (a) et (b) : (a) houle du modèle NWW3 à 100 km /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes données mais seuillées au dessus de 3.5 m.



✓ **Premiers éléments de perception de la reconduction 2021 – 2022** (point réalisé le 1^{er} avril, suite au survol du 4 mars)

Aucune mission d'estimation n'a été réalisée entre octobre et fin février. **Des prospections très locales montraient cependant des stocks encore bien présents en janvier en baie de Saint Briec** (mais quantification impossible sans perception aérienne de l'ensemble de la baie) en particulier sur certaines des anses de la façade ouest d'Hillion. C'était encore massivement le cas début février et les **stocks perçus étaient très importants** et inquiétants (annonciateurs de prolifération très précoces).

Une prospection plus limitée avait pu être réalisée le 18 janvier (grand coefficient, basse mer) sur la baie de Saint Michel en Grève. Sur cette baie et à cette date, nous n'avons pas perçu de stocks du tout comparables à la situation reportée ci-dessus en baie de Saint Briec. Mais, malgré la présence de biomasses semblant faibles, des fragments d'ulves, de très petites tailles (de quelques mm à quelques cm) étaient perçus en léger rideau et en petits dépôts mêlés à d'autres algues.

Après plusieurs reports du fait de conditions « peu favorables aux dépôts » et au survol, et malgré des conditions qui n'étaient pas totalement « idéales » pour percevoir des dépôts (vent NNO de 20-30 km/h et houle non négligeable), un **vol partiel des côtes a été réalisé le 4 mars**, sur un grand coefficient (103). Ce vol a permis de constater :

- des échouages faibles et probablement dominés par des algues brunes sur la baie de la Forêt (Cabellou et anse du Saint Jean et Saint Laurent mais pas de perception de terrain pour confirmer l'absence d'ulves),
- pas d'échouages sur la baie de Douarnenez (léger rideau brun/rouge, sans vert devant le Ry et Sainte Anne la Palud)
- plage du Moulin Blanc qui semble indemne (légère présence infralittorale ?) mais tapis présents sur le fond de Rade (Tibidy)
- R.A.S. sur le site de Guissény et l'anse du Dossen (goémon présent mais a priori sans ulves)
- Anse de Locquirec indemne d'échouage
- **Aucune ulve présente sur la baie de Saint Michel en Grève** : lors du vol, une perception fine de l'estran (guidée par l'aérien), n'a **pas permis de déceler d'ulves** (très léger dépôt de fragments de goémon et autres débris végétaux). Les conditions (vent « de mer » et déferlements de vagues/turbidité) n'étaient **cependant pas optimales pour une perception des algues**.
- De façon assez exceptionnelle, présence de léger échouage et **rideau bien formé sur Binic** (plage des Godelins) : les contrôles de terrain le jour du vol ont permis de confirmer que c'était bien des ulves, majoritairement.
- Sur la baie de Saint Briec, le survol a permis de percevoir **quelques très rares dépôts**, en bas d'estran. Extrêmement localisés et de faible extension ; les 10 jours de « tempête » ont manifestement été très efficaces pour déstocker les algues encore massivement présentes 15 jours plus tôt. Les contrôles de terrain, le jour du vol, ont permis de trouver **quelques petits secteurs présentant de petits fragments d'ulve en mélange** avec des débris végétaux. Il convient de bien noter que le jour du vol, **le vent de NNO génère un état de mer probablement peu propice à l'échouage d'algues de petite taille**. Par ailleurs, la turbidité très forte engendrée par le déferlement des vagues interdit la perception de la présence d'algues un peu plus loin, dans la colonne d'eau. Il est donc possible que les conditions lors de l'acquisition n'aient **pas permis de percevoir l'ensemble des algues de la baie**. Enfin, la configuration de la baie (vaste et en « V ») pourrait aussi permettre, plus qu'ailleurs, un retour d'algues qui auraient été éloignées de « quelques miles » au large mais pas suffisamment pour ne plus se ré-échouer sur la baie à la faveur de temps plus calme.
- De **très vastes étendues d'algues vertes sont présentes sur la baie de la Fresnaye**. Les quantités en place sont de l'ordre de celles (très importantes) perçues lors du dernier vol d'octobre. Des contrôles de terrain le 7 mars sur l'ensemble de ces dépôts de la baie ont montré que les algues vertes de type Ulvaria



constituaient la **quasi-totalité de la biomasse perçue en aérien**. Cette situation n'avait **pas été observée depuis de nombreuses années** (a priori depuis 2004 avec environ 40 ha/1600 T d'ulves estimée le 25 mars). Les conditions de l'année semblent donc, sur cette baie très abritée, ne pas avoir permis de destockage jusqu'à ce mois de mars. Ces biomasses déjà très importantes risquent donc (sauf conditions devenant très dispersives) de provoquer **une prolifération très rapide et très précoce sur cette baie**, habituée « historiquement » à des proliférations précoces.

Depuis le survol, des perceptions, plus limitées car sans appui aérien, ont été réalisées sur certains sites.

Le **28 mars une prospection assez poussée de la baie de Saint Briec** (parcours en baie de 8.5 km) montrait le **retour des stocks considérables qui avaient été perçus sur janvier – février**, confirmant que la faible présence d'ulves relevée le 4 mars lors du vol était en grande partie liée aux conditions d'agitation des jours précédant le survol (agitation ayant contrarié les dépôts, eau turbide interdisant la perception aérienne en rideau et algues probablement éloignées de seulement quelques centaines de mètres de l'estran).

La baie de la Fresnaye demeure, comme annoncé suite au vol du 4 mars, également extrêmement chargée (image Sentinel du 17 et 22 mars et photos terrain de Dinan Agglomération du 30 mars).

Des prospections de terrain, en baie de Saint Michel en Grève, le 29 mars (forcément partielles du fait de la taille du site et lors d'un coefficient peu important, de 67) n'ont pas permis de percevoir de quantités significatives d'ulves sur les secteurs « a priori » les plus « logiquement touchés » à cette saison.

Ces quelques éléments semblent donc confirmer, comme en 2019 ou 2021, une situation qui serait très différenciée entre l'est des Côtes d'Armor dont les sites (Saint Briec et Fresnaye, en premier lieu) seraient très précoces du fait :

- de stocks très importants en automne 2021,
- ces baies sont vastes et très peu exposées à la houle,
- l'hiver a été « relativement » peu dispersif,
- des eaux plutôt chaudes et un mois de mars lumineux (paramètre habituellement limitant à cette saison).

Les autres sites (stocks à l'automne faibles, situation d'exposition supérieure) pourraient présenter un démarrage « normal » voire tardif. Les conditions du début avril peuvent encore modifier ces constats : un maintien de conditions agitées retarderait le démarrage et un retour de temps calme et ensoleillé l'avancerait.

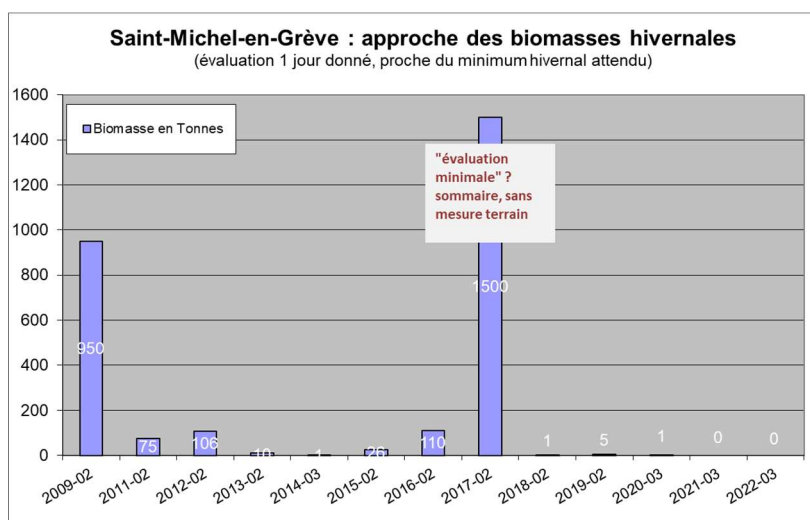


Figure 16 : estimation des biomasses en ulves sur la baie de Saint Michel en Grève utilisée comme « baie de référence » régionale pour la précocité.



2.5. Veille thématique internationale

2.5.1. Contexte et objectif

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

Ce travail poursuit la veille engagée dans le cadre du programme Prolittoral depuis 2002 et 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 principalement réalisée à travers la consultation 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», «proliferation», «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 2021 et complétée par le début de l'année 2022. 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. Description des Proliférations macroalgales

2.5.3.1.1. Télédétection

Sur l'ensemble des publications analysé en 2021, plusieurs études dressent une description générale et globale des différentes approches, méthodes et capteurs en télédétection qui peuvent être utilisés et appliqués à la détection des algues ou plus généralement du littoral. Ces revues analysent les besoins en terme de résolution spatiale, spectrale et temporelle pour la cartographie des blooms d'algues vertes dont la dynamique peut être rapide (Ruijia et al. 2021). Ces méthodes peuvent également être utilisées pour cartographier les habitats benthiques de manière générale, mais l'influence de la colonne d'eau dans ces milieux est une problématique récurrente qui complique la détection de la végétation immergée (Lønborg et al. 2021; Cavanaugh et al. 2021). L'arrivée des drones aérien a également créé des opportunités pour l'acquisition d'images à très haute résolution spatiale dans des milieux souvent difficiles d'accès ou pour le suivi d'impacts environnementaux de nature anthropique ou naturel (Hu et al. 2021; Harrald et al. 2021; Li, Wang et Xing 2021; Román et al. 2021; Tait, Orchard et Schiel 2021). Ruijia et al. (2021) notent également



l'essor et l'importance des drones sous-marins pour la détection des végétaux immergés et pour la surveillance des paramètres physico-chimiques du milieu.

De nombreuses études concernent le suivi des blooms d'algues vertes massifs en Mer Jaune de Chine aux différents stades du développement, basé sur la capacité à détecter des patches de petites tailles au début du phénomène en utilisant les meilleures résolutions spatiales possibles (Sun *et al.* 2021; Wang, Xinhua *et al.* 2021; Zhang, Hailong *et al.* 2021), jusqu'à la dissipation du phénomène et des paramètres qui y contribuent (An *et al.* 2021; Li, Gao et Xu 2021).

En règle générale, la majorité des études combinent des données issues de plusieurs sources de capteurs pour exploiter les différentes gammes spectrales de longueurs d'ondes (Wang et Hu 2021; Chao *et al.* 2022), en tenant compte des incertitudes inhérentes à chaque méthode (Qi et Hu 2021). Ainsi, Sun *et al.* (2021) proposent une méthode fiable en plusieurs étapes afin de séparer les blooms de macroalgues vertes et de Sargasses selon des seuils appliqués à différents indices de végétation (Figure 17).

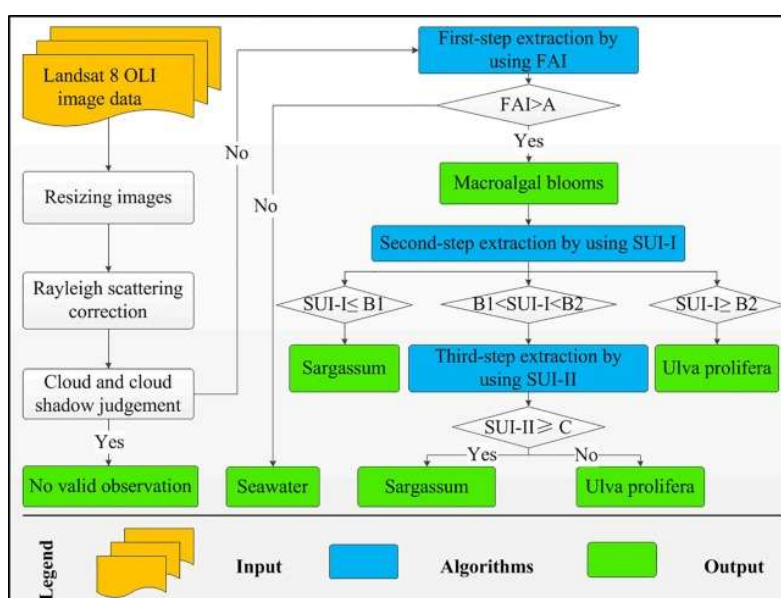


Figure 17. Schéma conceptuel de la détection des blooms de Sargasses ou d'ulves à partir d'une méthode en plusieurs étapes.

D'autre part, quelques études portent sur la technologie radar qui peut aussi être utilisée pour la détection de la distribution des algues flottantes et de leur dérive en mer (Yu *et al.* 2021; Guo, Le Gao et Li). Karki *et al.* (2021) ont montré la possibilité de coupler des images multispectrales avec des images radar et des données de biomasses *in situ* pour prédire et évaluer automatiquement les biomasses d'échouages d'algues vertes. L'imagerie radar n'est pas directement corrélée aux valeurs de biomasses, mais son utilisation permet d'améliorer nettement les performances du modèle de prédiction avec une précision élevée ($R^2 = 0.74$). Les erreurs de précision du modèle peuvent être dues aux mouvements des marées, du vent, de la précision des GPS sur le terrain et du décalage entre l'acquisition des images et les relevés sur le terrain (Figure 18).

Les données *in situ* sont des variables importantes à prendre en compte pour calibrer et valider les modèles. Cependant, l'acquisition des données terrain est souvent fastidieuse, chronophage, et mobilise de nombreuses personnes pour une donnée relativement ponctuelle. Le développement et le déploiement de sondes connectées pourrait permettre d'analyser en temps réel une grande quantité d'informations. C'est ce qui a été développé dans l'étude de Park *et al.* (2021) à travers un réseau d'antennes inter-connectées qui collecte, en temps réel, des informations issues de différentes sondes environnementales réparties sur



un large territoire permettant ainsi l'analyse et l'interprétation de données relatives à la qualité de l'eau. Cette étude a été réalisée dans le but d'identifier les conditions favorables au développement de blooms d'algues vertes et de définir des mesures de gestion à mettre en place en amont des proliférations.

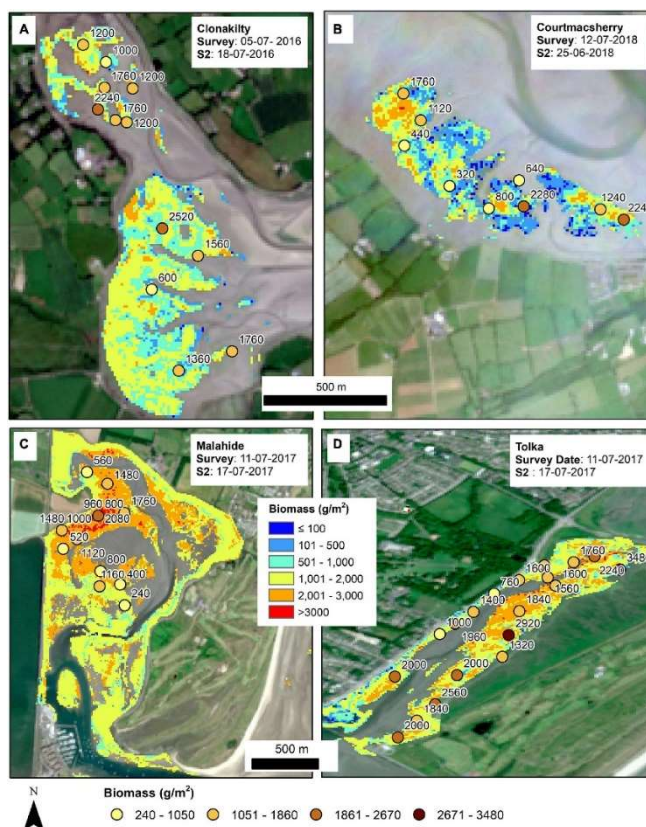


Figure 18. Cartographie des variations de biomasses dans les échouages d'algues vertes en combinant les techniques multispectrale et radar satellitaire.

Dans la plupart des études, l'une des difficultés mise en évidence dans l'utilisation des données satellitaires est la variabilité de la disponibilité des images qui dépend notamment du passage du satellite, du secteur d'étude (e.g. prise en compte des heures de basse mer pour la cartographie de l'estran) et de la couverture nuageuse. L'utilisation de données issues de satellites géostationnaires, qui proposent une très haute résolution temporelle, pourrait permettre de surmonter dans certains cas l'accessibilité aux images. Minghelli *et al.* (2021) ont d'ailleurs combiné des images satellitaires Sentinel-3 avec des images du satellite géostationnaire météorologique GOES-16, qui fournit des informations toutes les heures, pour cartographier précisément l'étendue et la dérive des Sargasses en Mer des Caraïbes.

Enfin, l'un des intérêts majeurs de l'utilisation de la télédétection est la capacité à reconstituer des séries temporelles d'images qui permettent de suivre dans le temps les tendances d'évolutions sur de grandes échelles spatiales, dans le but, notamment, de définir des mesures de gestion et de conservation des écosystèmes et suivre l'impact des activités anthropiques sur le milieu (Cao *et al.* 2021).

2.5.3.1.2. Descriptions locales du phénomène des marées vertes

Asie

Plusieurs des études descriptives des marées vertes en Asie portent sur l'analyse spatiale d'images satellitaires avec l'utilisation de méthodes plus ou moins automatisées de type Machine / Deep Learning,



Google Earth Engine (GEE), ou de classifications et segmentations d'images semi-automatiques. La plupart de ces études portent sur les marées vertes massives qui surviennent en Mer de Chine pour étudier les processus de prolifération, de migration ou de dissipation (An *et al.* 2021; Guo, Le Gao et Li; Li, Wang et Xing 2021; Li, Gao et Xu 2021). Ces données servent à alimenter des modèles de croissance pour évaluer et prédire le développement des biomasses algales (Ying, Ruifu et Junhui 2021), en tenant également compte des concentrations d'azote et de nutriments biodisponibles dans le milieu (Wang, Changyou *et al.* 2021) ou les variations des paramètres environnementaux tels que les moussons ou l'enrichissement nutritif apporté par les upwellings côtiers (Wang, Bin *et al.* 2021).

Un exemple de modèle utilisé pour simuler la migration des marées vertes en Mer de Chine se base sur un modèle de dispersion Lagrangien (FMGDM - Floating Macroalgal Growth and Drift Model) qui reproduit correctement la distribution et la biomasse algale par rapport aux observations satellites ainsi que leurs évolutions spatiales avec une précision de 7 à 8 jours (Zhou *et al.* 2021).

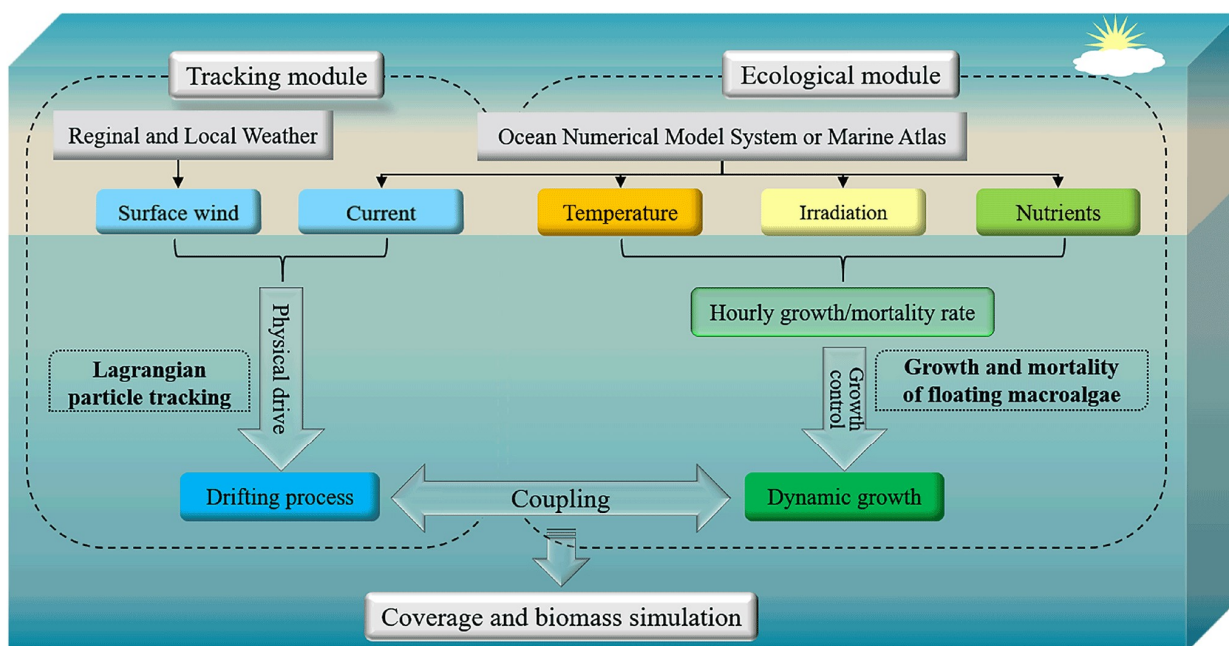


Figure 19. Modèle conceptuel du modèle FMGDM avec l'ensemble des paramètres physico-chimiques et hydrodynamiques utilisés.

Océanie

L'application des méthodes par télédétection ou modélisation, décrites ci-dessus, peuvent permettre d'évaluer l'impact des blooms de macroalgues sur l'environnement comme c'est le cas pour Brisset *et al.* (2021) qui ont étudié la dynamique d'échouage des algues sur les récifs coralliens en Nouvelle-Calédonie.

Une meilleure connaissance de la dynamique de ces proliférations, survenant à 2 périodes différentes dans l'année, permet de mieux définir les mesures de gestion et d'interventions adaptées pour la protection des lagons.

Europe

Deux études ont été menées en Europe pour décrire les échouages de macroalgues sur de vastes zones d'étude. Blanco *et al.* (2021) ont réalisé un effort de terrain considérable le long du littoral de la Galice, sur 6 espèces envahissantes (*Grateloupia turuturu*, *Asparagopsis armata*, *Colpomenia peregrina*, *Sargassum muticum*, *Undaria pinnatifida* et *Codium ssp*). Les données de terrain, couplées à des variables prédictives



environnementales et anthropiques ont permis d'alimenter un modèle de distribution pour cartographier la probabilité de présence de ces algues. Les rias au sud de la Galice sont identifiées comme les points chauds où elles peuvent se développer massivement tandis que les côtes Portugaises sont relativement épargnées. Cela a également permis de mettre en évidence que les variables physico-chimiques sont les facteurs clés plus importants pour prédire la présence des proliférations avec une contribution entre 57 et 85% mais la prise en compte des variables anthropiques ont considérablement amélioré les estimations du modèle.

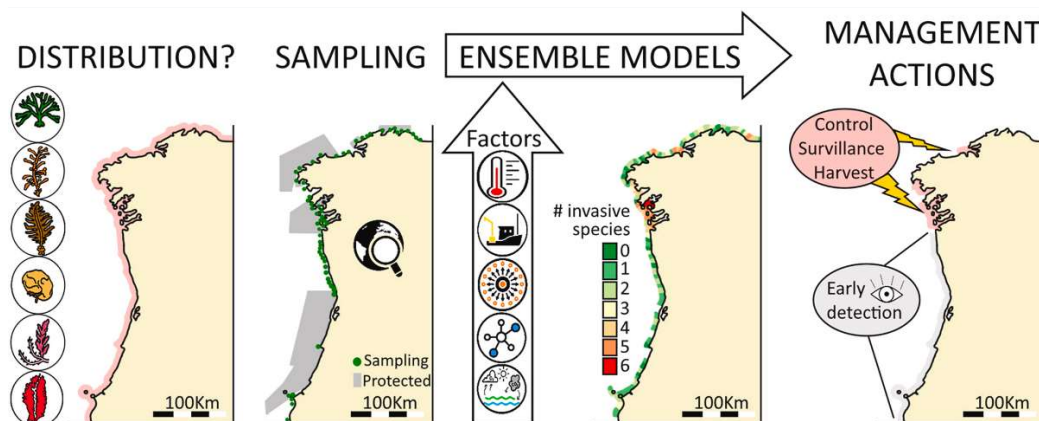


Figure 20. Processus pour identifier les points chauds de présence de 6 espèces d'algues envahissantes.

La deuxième étude à considérer traite de la capacité des images satellites à évaluer et suivre le phénomène des marées vertes sur 4 des principaux sites bretons impactés par des échouages massifs (*i.e.* Saint-Michel-en-Grève, Locquirec, Yffiniac, Morieux). Pour cela Schreyers *et al.* (2021) ont analysé les séries temporelles d'images Landsat disponibles sur les 35 dernières années en utilisant le catalogue et la plateforme d'analyse Google Earth Engine (GEE). Les images ont été sélectionnées selon la date, la localisation des sites, la couverture nuageuse (entre 0 et 20%) et l'heure de basse mer. Afin de comparer les séries temporelles à des dates différentes, des traitements de corrections atmosphériques ont été nécessaires. La période retenue pour la sélection des images, entre mai et septembre, correspond au développement maximum des algues vertes et permet de calculer une moyenne annuelle des surfaces d'échouages sur ces 5 mois d'inventaires. Les données surfaciques issues des traitements des images satellites ont été comparées aux données du CEVA obtenues à partir des images aériennes pour chaque inventaire entre 2002 et 2019.

Pour chacun des 4 sites, au total, 175 images sont nécessaires pour reproduire une série complète entre 1984 et 2019 (5 inventaires entre mai et septembre, donc 5 images par an au minimum sur les 35 dernières années). En considérant les critères de sélection des images, un total de 85, 80, 68 et 55 images sont disponibles respectivement pour les sites de Saint-Michel-en-Grève, Locquirec, Yffiniac et Morieux. Il est à noter que certaines années ne comportent aucune image (*e.g.* pour Yffiniac, aucune image n'a été trouvée en 1985, 1986, 1990, 1994, 2012 et 2017) ou parfois qu'une seule image hors période estivale (*i.e.* entre octobre et avril) comme cela est le cas pour les sites de Locquirec et Saint-Michel-en-Grève en 2004 et 2017.

La détection des algues vertes sur l'estran nécessite d'utiliser un indice de végétation (NDVI) avec des seuils adaptés à chaque capteur utilisé (*e.g.* seuil de NDVI différent entre les images de Landsat5 et Landsat8) et les premières cartographies obtenues ont été retouchées à cause de la détection de faux-positifs. Les cartes de NDVI permettent donc de visualiser les principaux échouages sauf pour les dépôts les plus difficiles à percevoir car plus diffus sur le sédiment (*e.g.* à Saint-Brieuc les 21/05/1991 et 16/07/2016) ou dans le rideau en raison de l'absorption spectrale de la colonne d'eau (*e.g.* à Saint-Michel-en-Grève le 06/06/1995 ; Figure 21).

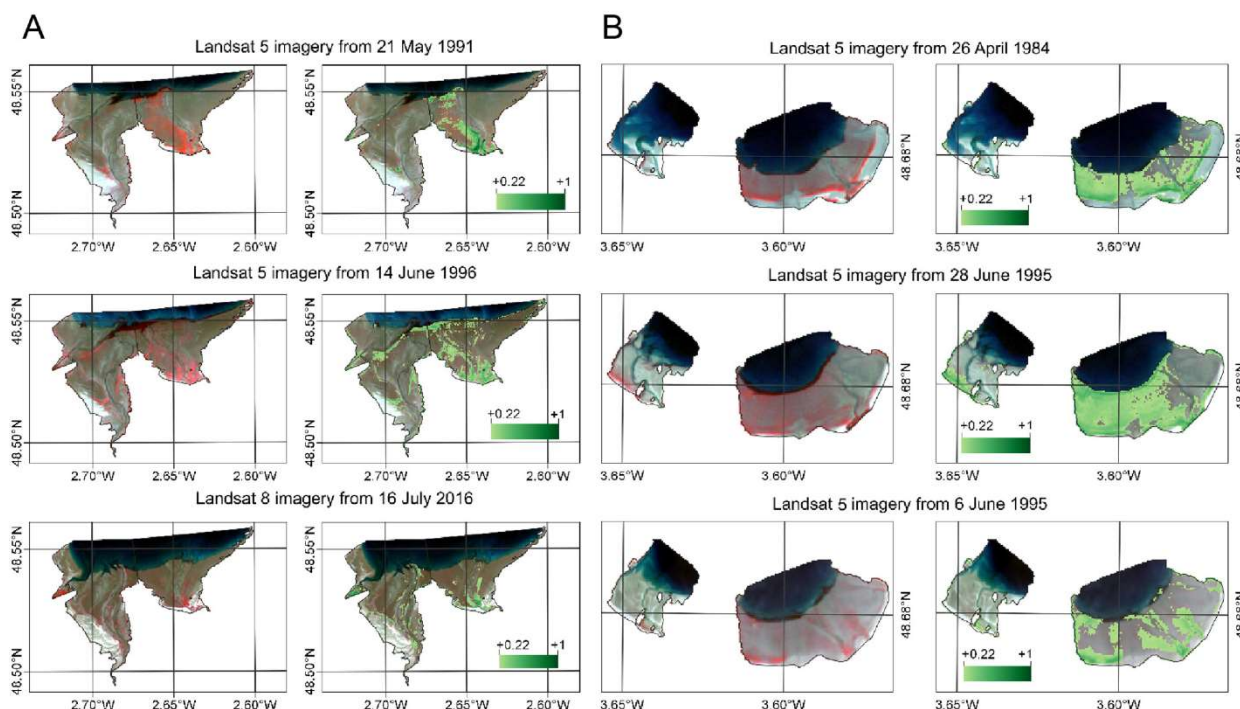


Figure 21. Cartographie des échouages d'algues vertes à partir du NDVI appliqué aux images Landsat sur les secteurs de Saint-Brieuc (Morieux+Yffiniac, A) et Saint-Michel-en-Grève et Locquirec (B).

Les résultats indiquent que sur la longue série temporelle analysée (35 ans), il y a une variabilité inter-site et inter-annuelle importante mais qu'il n'y a pas de tendance significative sur l'évolution des échouages, sauf pour Locquirec où la surface des dépôts semble diminuer. Les comparaisons des surfaces annualisées entre les images satellites et les données du CEVA montrent des niveaux et tendances comparables sauf pour certaines années ou des écarts importants sont mesurés et peuvent être liés aux différentes méthodes qui ont été utilisées.

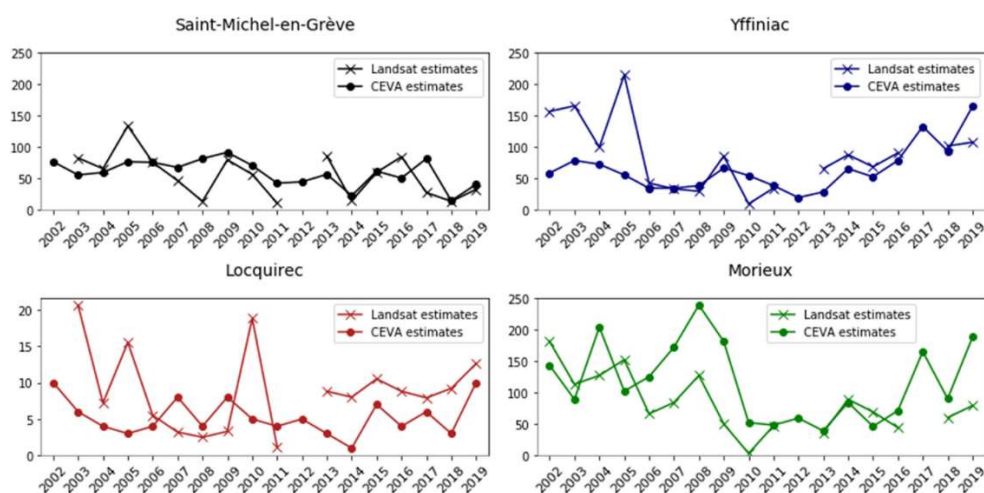


Figure 22. Evolutions surfaciques annuelles des échouages d'algues vertes et comparaison entre les analyses d'images satellitaires et les données du CEVA.



2.5.3.1.3. Descriptions locales d'autres proliférations macroalgales

Le suivi des proliférations de macroalgues nécessite généralement l'usage d'outils de cartographie pour localiser leur présence, de modélisation pour prédire leur évolution ainsi que des échantillonnages et prélèvements sur le terrain. Ces méthodes ont par exemple été employées par Blanco *et al.* (2021) pour identifier les probabilités de présence et les « points chauds » en Galice pour plusieurs espèces caractérisés comme envahissantes : *Grateloupia turuturu*, *Asparagopsis armata*, *Colpomenia peregrina*, *Sargassum muticum*, *Undaria pinnatifida* et *Codium ssp.* D'autres méthodes originales ont également été utilisées pour le suivi de populations envahissantes comme le traitement d'images satellites ou aéroportées couplées aux données collectées à travers la science participative (Mannino, Borfecchia et Micheli 2021).

Sargasses

Avec les ulves, les Sargasses sont aussi connues pour engendrer des blooms importants qui impactent le milieu et causent des dégâts importants sur les côtes. Ces blooms sont régulièrement suivis et caractérisés, notamment en mer de Chine où le phénomène impacte les cultures de *Pyropia yezoensis* (Zhuang *et al.* 2021). En parallèle, plusieurs études sont réalisées afin de caractériser les contenus internes de ces algues pour extraire des produits valorisables ou trouver les potentielles voies de valorisation (López-Contreras *et al.* 2021; Davis *et al.* 2021; Amador-Castro *et al.* 2021). Ces études sont principalement réalisées dans les secteurs propices aux échouages de Sargasses et notamment aux Caraïbes, Afrique de l'Ouest, le Golfe du Mexique et le Brésil.

2.5.3.2. Impacts des proliférations

2.5.3.2.1. Sur les organismes et les populations sauvages

L'effet allélopathique d'*Ulva lactuca* sur la physiologie et le métabolisme des deux micro-algues, *Dunaliella salina* et *Chlorella salina* a été étudié par El-Darier *et al.* (2021). Les auteurs démontrent que les tissus d'*U. lactuca* contiennent plusieurs composés allélochimiques (dont l'éthyl ester d'acide linoléique, le 3-méthylthio d'acide propanoïque, l'acide oléique, le méthyl-ester d'acide 9-octadécynoïque), qui affectent significativement la croissance, l'activité anti-oxydante, le contenu en protéines et l'expression des gènes des deux micro-algues.

Liang *et al.* (2021) se sont intéressés à la dynamique des communautés bactériennes marines en réponse à la production de matière organique dissoute (MOD) générée par les proliférations d'*Ulva prolifera* en Mer Jaune. À partir d'expérimentations en microcosmes, ils démontrent que les apports en MOD (1) augmentent significativement l'abondance des bactéries dans les six premières heures d'incubation, (2) diminuent la diversité bactérienne, et enclenchent à la fois (3) une succession de communautés bactériennes et (4) d'activités enzymatiques extracellulaires sur la période d'incubation de 168 heures.

2.5.3.2.2. Sur le milieu abiotique

Impact sur la chimie des carbonates

Li *et al.* (2021) ont apporté de nouveaux éléments de réponse concernant le rôle des marées vertes sur la chimie des carbonates dans l'eau de mer, *via* le suivi saisonnier (début du bloom, fin du bloom et après-bloom) du pH, du carbone inorganique dissous (DIC), de l'alcalinité totale (TA) et de la pression partielle en dioxyde de carbone ($p\text{CO}_2$) des eaux côtières de Qingdao en 2018. Ils montrent qu'en comparaison aux eaux adjacentes non concernées par les marées vertes, les proliférations d'*U. prolifera* engendrent une diminution du pH et du DIC de l'eau de mer ainsi qu'une augmentation de TA et $p\text{CO}_2$. Les eaux côtières de



Qingdao deviennent alors une source conséquente en CO₂ pour l'atmosphère en fin de prolifération, et la formation de carbonate de calcium y est favorisée.

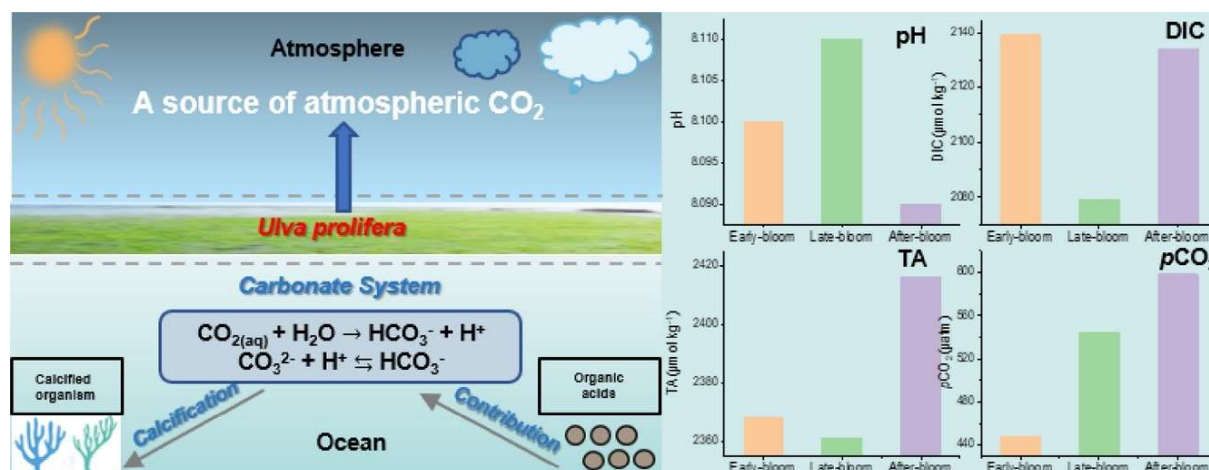


Figure 23. Schéma synthétique des résultats obtenus par Li et al. (2021)

Impact sur le cycle de l'azote dans le sédiment

Wong *et al.* (2021) ont étudié l'impact des dépôts d'algues vertes et des apports terrigènes en nitrates sur le cycle de l'azote au niveau des sédiments perméables de la baie de Port Philip (en Australie). Ils démontrent que, sans apport de nitrates, les dépôts d'algues vertes accroissent drastiquement la réduction des nitrates en ammonium et la production d'un gaz à effet de serre, le protoxyde d'azote (N₂O). En revanche, l'apport de nitrates dans le milieu engendre une diminution des émissions de N₂O et de la réduction des nitrates en ammonium. Ces observations seraient induites par l'évolution des communautés microbiennes en réponse aux différentes concentrations en nitrates.

Impact sur l'acidification de l'eau de mer

Becherucci *et al.* (2021) se sont intéressés à l'impact des proliférations d'*Ulva lactuca* sur l'acidification du milieu au niveau de la baie de San Antonio (Nord de la Patagonie argentine). À partir d'expérimentations *in situ*, ils montrent que les blooms d'*Ulva lactuca* augmentent le pH du milieu *via* l'activité photosynthétique, limitant de fait l'acidification du milieu localement.

2.5.3.2.3. Sur les activités humaines

Les proliférations de sargasses dans l'océan Atlantique peuvent, selon les quantités de biomasses présentes, avoir un effet négatif (*e.g.* accessibilité limitée pour les bateaux de pêche, mortalité des poissons) ou positif (*e.g.* habitat propice à la croissance des poissons, restauration du stock de poissons) sur les activités de pêche au Ghana. Ofori et Rouleau (2021) ont développé un modèle multi-agents visant à définir les mesures de gestion optimisées, en termes de ramassage des sargasses, permettant le maintien des stocks de poissons et la durabilité des activités de pêches sur le long-terme. Ils estiment que les gestionnaires des pêches pourraient tirer avantage des radeaux d'algues brunes en récoltant 75 % de la biomasse algale dans une zone de pêche donnée chaque semaine.

2.5.3.3. Facteurs contribuant au développement des marées vertes

2.5.3.3.1. Facteurs anthropiques

L'une des principales causes de la prolifération des algues peut être reliée aux activités anthropiques et notamment à l'apport excessif de nutriments (*i.e.* d'azote) dans l'environnement. Cet enrichissement



contribue au maintien de la biomasse algale des marées vertes pouvant retarder la dégradation de la matière organique (Yang, X. *et al.* 2021). Ces enrichissements peuvent avoir des sources plus ou moins directes comme les activités agricoles ou aquacoles avec des effets variables sur les populations algales (Streicher, Reiss et Reiss 2021), mais peuvent également s'accumuler dans le sol et le sous-sol et être relargués à travers les eaux souterraines. Plusieurs études ont démontré l'importance des sources azotées provenant de ses eaux souterraines chargées qui peuvent atteindre des niveaux 3 fois supérieurs à ce qu'il peut être observé dans les cours d'eau (Peng *et al.* 2022; Prakash *et al.* 2021; Zhao, Shibin *et al.* 2021).

Dans certains cas, l'apport excessif en nutriments profite à d'autres espèces envahissantes comme *Gracilaria chilensis* au détriment des herbiers marins qui ne sont pas aussi compétitifs pour l'assimilation des nutriments en forte concentration (Robertson et Savage 2021).

2.5.3.3.2. Facteurs environnementaux abiotiques

Les paramètres environnementaux jouent un rôle important sur le développement des algues vertes et sur leur capacité à entraîner des marées vertes plus ou moins significatives. L'étude de l'impact des variations des facteurs abiotiques sur les ulves peut également permettre d'évaluer l'évolution de leur croissance dans un contexte de changement climatique (*e.g.* diminution des biomasses à fortes températures ; (Calumpiano *et al.* 2021; Lina *et al.* 2021) ou l'acidification des océans (*e.g.* meilleur potentiel de croissance avec l'acidification des océans ; (Kang *et al.* 2021; Wang, Yitao *et al.* 2021)). Les conditions météorologiques impactent également localement l'ampleur des marées vertes, notamment lorsque les précipitations sont abondantes et combinées à une température optimale de l'eau (Li, Gao et Song 2021). L'environnement direct peut également favoriser le développement des algues vertes par le captage de nutriments disponibles, comme cela a été montré pour les écosystèmes de vasières où le sédiment stocke et diffuse des flux de NH_4^+ et PO_4 (Figure 24 ; (Louis *et al.* 2021)).

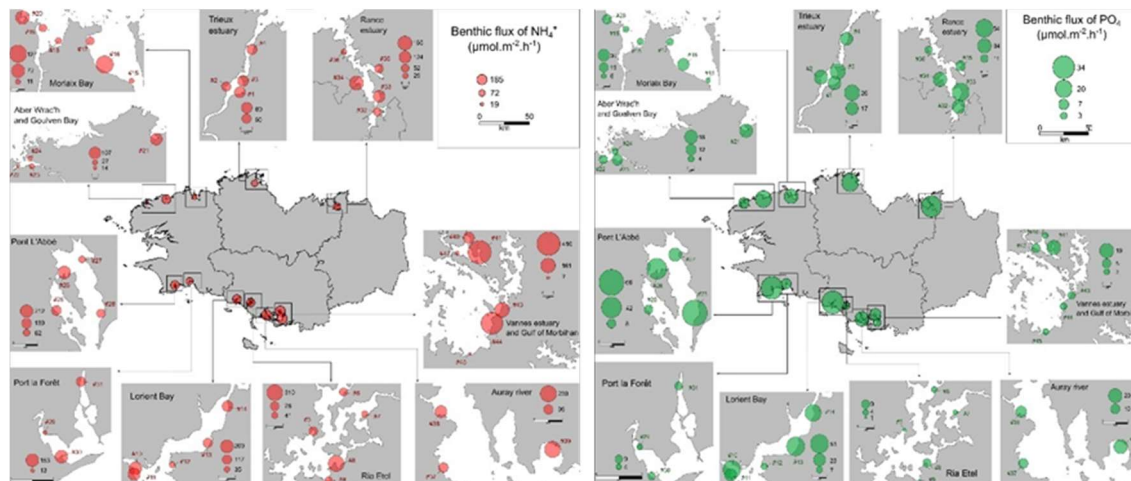


Figure 24. Variations spatiales des flux de NH_4^+ (en rouge) et PO_4 (en vert) sur 45 sites échantillonnés en vasière en Bretagne.

2.5.3.3.3. Métabolismes

Des études moléculaires ont permis de mettre en évidence l'implication de différentes voies métaboliques dans la prolifération algales. En effet, la variations des conditions environnementales telles que la salinité (Qikun *et al.* 2021) ou le manque d'azote (Yang, Juanjuan *et al.* 2021) a induit l'expression de gènes. Les algues vertes de type ulves semblent présenter une meilleure capacité à utiliser les nutriments disponibles, que d'autres espèces proliférantes telle que *Sargassum horneri* (Zhang, Pengyan *et al.* 2021; Zhao, Xinyu, Zhong, Yi *et al.* 2021; Wang, Changyou *et al.* 2021). Des études en laboratoire ont également permis de



montrer la capacité d'adaptation et de régénération des ulves suite à un stress de température ou de luminosité, comme cela peut être le cas en milieu naturel, lorsque les conditions environnementales ne sont plus favorables au développement des algues (*i.e.* en automne et hiver). Les expérimentations menées par Tao *et al.* (2021) ont permis de mettre en évidence la régénération d'algues vertes à partir de thalles et cellules présumés morts ou grandement dégradés (Figure 25).

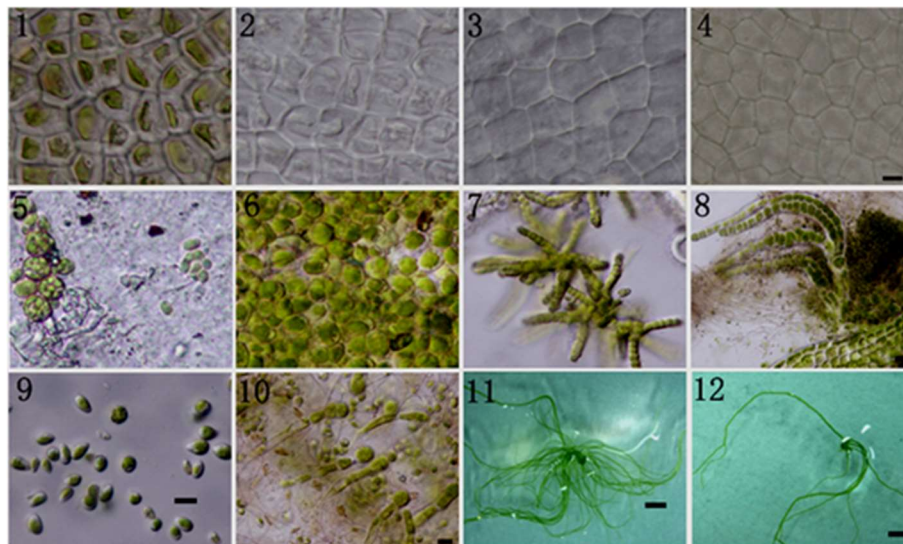


Figure 25. Cellules d'algues vertes soumises à un stress de température et luminosité (thalles séchés puis conservés à -20°C , à l'obscurité pendant 30 jours). (1) t_0 : cellules vivantes, (2, 3 et 4) mortalité des cellules après jusqu'à 120 jours de traitement. (5 à 10) régénération des cellules dans un milieu de culture favorable après 10 à 60 jours. (11 et 12) Formation d'un nouveau thalle.

2.5.3.3.4. Reproduction et cycles biologiques

Différents mécanismes adaptatifs ont été développés par les ulves afin de pouvoir augmenter leurs biomasses ou s'étendre dans la colonne d'eau. La régulation de la sporulation ou de la croissance est un de ces mécanismes qui a été étudié par Hiraoka (2021). Les résultats ont montré qu'une inhibition de l'allocation d'énergie pour la biomasse au profit de la sporulation sous certaines conditions environnementales (température élevée, manque de lumière) pouvait causer des marées vertes importantes. Obolski *et al.* (2021) ont également étudié les dynamiques de sporulation à travers des populations d'algues vertes composées d'un mélange de générations et sous l'effet d'un inhibiteur de sporulation naturellement sécrété par les jeunes individus. En conditions naturelles, les populations mixtes (intergénérationnelles) ont donc une croissance plus importante car les inhibiteurs de sporulation sécrétés par les jeunes individus permettent aux individus plus âgés de poursuivre leur croissance plutôt que de produire des spores au détriment d'une augmentation de biomasse. Cette étude a permis de développer un modèle mathématique pour prédire l'évolution des biomasses en fonction de différentes classes d'âges et d'inhibiteurs de sporulation à des fins de culture d'algues vertes en milieux contrôlés.

2.5.3.3.5. Compétitions et interactions biologiques

L'activité de broutage des amphipodes *Aphoyale sp.* décrit par Miao *et al.* (2021) (cf. 2.5.3.4.2) et contribuant à la diminution des biomasses d'ulves flottantes en Mer Jaune, pourrait également être un facteur favorisant les marées vertes. En effet, les résultats ont montré que les fragments d'algues vertes créés par le broutage ont un taux de croissance rapide indiquant une rétroaction positive sur la biomasse algale qui augmente de façon exponentielle (Figure 26). La perte ou le gain net de biomasse algale reste encore à estimer et à étudier sur d'autres régions.

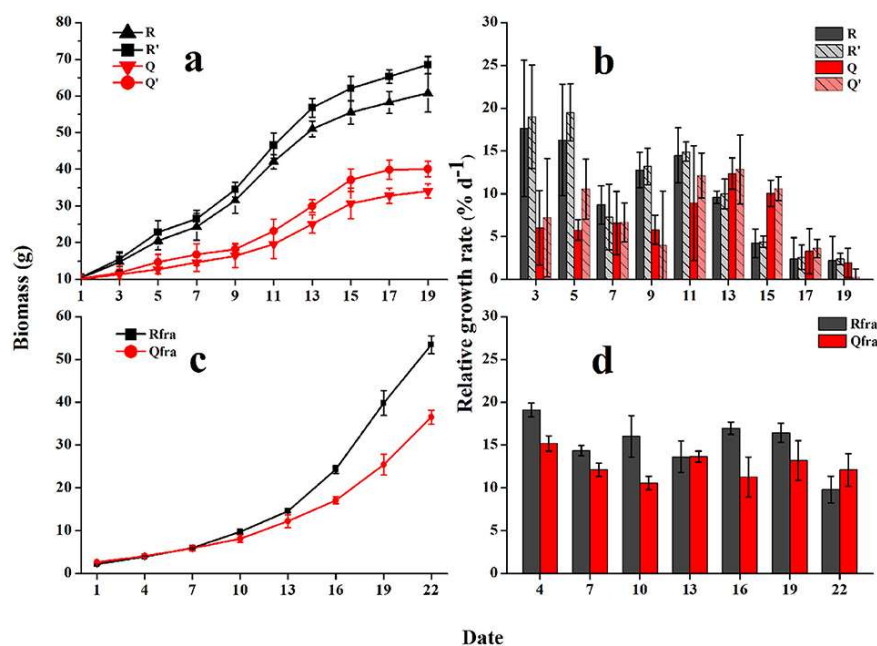


Figure 26. Evolution des biomasses d'algues vertes dérivantes (a) et de leur taux de croissance (b) en fonction du temps selon 2 sites différents (courbes rouges ou noires) et selon 2 condition différentes (avec pression de broutage R et Q et sans pression de broutage R' et Q'). (c) évolution des biomasses des fragments d'algues vertes et leurs taux de croissance en fonction du temps (d).

2.5.3.4. Facteurs limitants le développement des marées vertes

2.5.3.4.1. Facteurs environnementaux abiotiques

Les pluies acides

Zhao *et al.* (2021) ont étudié l'impact des pluies acides sur les paramètres photosynthétiques d'*Ulva prolifera* de la baie de Qingdao. Les algues ont été incubées pendant 30min, 1h et 2h sous différentes conditions de salinité (1, 10 et 30‰), et de pH (3,0, 3,5, 4,5). Ils montrent qu'au bout d'une heure d'incubation à faible pH (< 3,5) et salinité normale, les paramètres photosynthétiques (*i.e.* rendement maximum quantique F_v/F_m , et rendement quantique effectif Φ_{PSII}) étaient réduits de 50-70 %. En revanche, lorsqu'une faible salinité (10‰) était associée à un faible pH alors la photosynthèse était complètement inhibée. Les auteurs concluent que les proliférations d'algues vertes pourraient être fortement atténuées si le bloom était soumis pendant deux heures à des pluies acides, caractérisées par un pH < à 3,5 et une salinité de 1‰.

L'augmentation de la température de l'eau

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.* (2021) 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*.



Les ultraviolets-B

L'impact des ultraviolets-B (UV-B) sur la production des espèces réactives de l'oxygène (ROS) d'*Ulva prolifera* a été étudié par Zhao *et al.* (2021). Les résultats indiquent que, sous intensité modérée (1 W.m⁻²) d'UV-B, les ROS sont principalement produites dans le chloroplaste. À forte intensité (5 W.m⁻²), le radical oxygéné (OH•) cause des dommages irréversibles au thalle.

2.5.3.4.2. Facteurs biologiques

La forte abondance de l'espèce *Apothyale* sp. dans les zones de proliférations d'*Ulva prolifera* en Mer Jaune, a motivé une étude sur l'impact du broutage de cet amphipode sur les biomasses d'algues vertes (Miao *et al.* 2021). À partir d'expérimentation en laboratoire, ils estiment qu'*Apothyale* sp. peut réduire les vitesses de croissance des algues vertes de 0,4 à 16,6 % dans les zones côtières de Rudonc et Qingdao. Ils montrent en revanche que les fragments d'algues induits par le broutage de l'amphipode, se caractérisent par de plus fortes vitesses de croissance et des activités photosynthétiques comparables aux espèces dérivantes, suggérant un impact positif d'*Apothyale* sp. sur la croissance d'*Ulva prolifera*.

2.5.3.4.3. Gestion des marées vertes et actions anthropiques

Une synthèse des méthodes envisagées à ce jour pour limiter / supprimer les marées vertes a été réalisée par Tang *et al.* (2021). Cette synthèse discute des avantages et inconvénients des méthodes chimiques actuellement utilisées (*i.e.* application de réactifs toxiques et biocides) et émergentes (*i.e.* produits allélochimiques biodégradables, produits semi-naturels, agents de floculation) qui visent à la fois à inhiber la croissance d'*Ulva* sp. et à prévenir la germination de ses micropropagules.

En outre, deux études ont proposé de nouvelles méthodes chimiques pour limiter les blooms d'*Ulva* sp. en Mer Jaune. Ces deux méthodes ciblent la suppression des stocks de reconduction hivernaux d'*Ulva* sp. présents sur les structures de culture de *Porphyra yezoensis* (Nori), et qui ont été identifiés comme jouant un rôle majeur dans le développement des marées vertes en Mer Jaune.

- Gong *et al.* (2021) proposent d'appliquer en période hivernale (février et mars) un algicide, le dioxyde de chlore, à des concentrations (< 40 mg/L) sur les bouts de culture. Ils montrent que les stocks de reconduction d'*Ulva* sp. disparaissent dans les deux semaines après traitement, ce qui a pour effet d'inhiber la croissance des algues vertes au printemps au niveau des structures de culture pendant au moins 8 semaines. Ces résultats suggèrent, qu'appliquée à l'ensemble des zones de culture de *Porphyra yezoensis* de la mer Jaune, cette méthode pourrait permettre d'atténuer l'intensité des marées vertes à moindre coût.

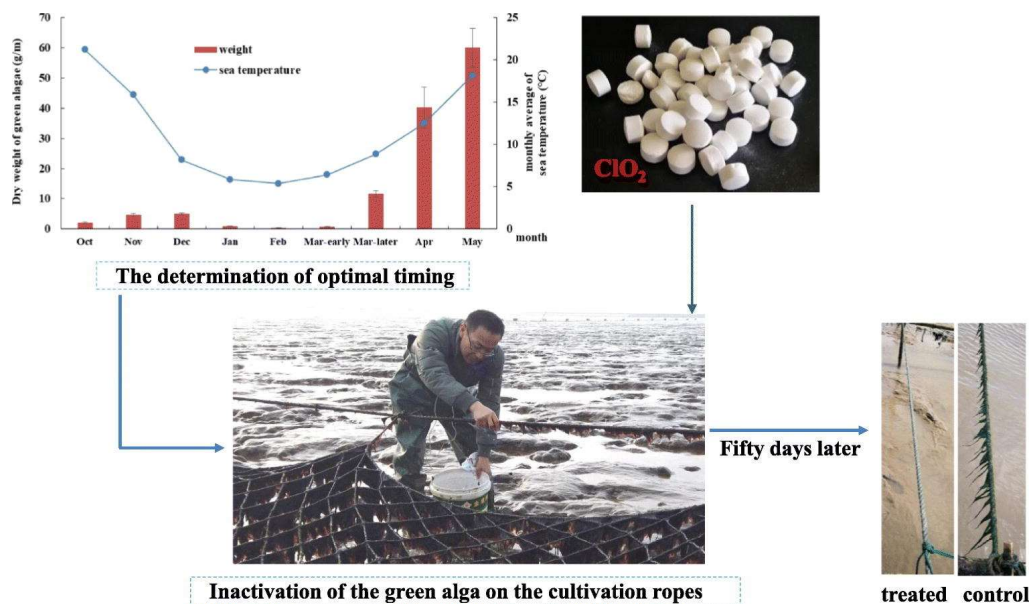


Figure 27. Synthèse de la méthodologie et des résultats obtenus par Gong et al. (2021)

- Liu et al. (2021) ont développé un système permettant d'appliquer une solution d'hypochlorite de sodium sur les bouts de cultures de *Pyropia* sp. tout en évitant la pollution du milieu par déversements du produit sur le sédiment. Ils démontrent l'efficacité de la méthode en réalisant le traitement d'une zone de culture de *Pyropia* sp. de 13 000 ha en novembre 2019.

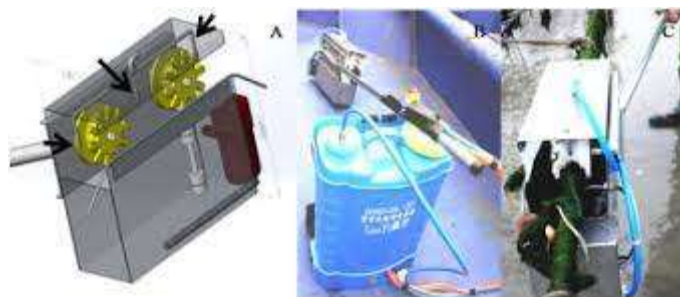


Figure 28. Schéma et photographie du système de traitement développé par Liu et al. (2021)

2.5.3.5. Valorisation des algues vertes

2.5.3.5.1. Agriculture

Deux études ont investigué les propriétés biostimulantes et de biocontrôle d'*Ulva* spp. sur des cultures de tomates et de blé. El Boukhari et al. (2021) ont démontré que l'application d'extraits d'*Ulva lactuca* sur les semis de tomates atténuait les effets néfastes de la salinité sur les jeunes plants (*i.e.* réduction de la biomasse, altération de différentes caractéristiques physiologiques). De la même manière, Zuo et al. (2021) ont mis en évidence l'efficacité des polysaccharides de faibles poids moléculaires extraits de l'algue *Ulva prolifera* pour améliorer la résistance du blé au stress osmotique.

L'utilisation de biochar d'*Ulva reticula* pour l'amendement des sols a été préconisée par Keerthanan et al. (2021) pour améliorer la rétention naturelle de la caféine dans le sol.



2.5.3.5.2. Aquaculture et Agroalimentaire

Le potentiel d'utilisation de deux espèces d'algues vertes, *Chaetomorpha valida* et *Ulva reticulata*, comme aliment naturel pour le concombre de mer *Apostichopus japonicus* et l'ormeau *Haliotis asinina* a été évalué et validé par Xing *et al.* (2021) et Lebata-Ramos (2021) respectivement.

Le développement des méthodes de culture à terre d'*Ulva* spp. est un sujet qui a été abordé par trois études en 2021 :

- Lawton *et al.* (2021) ont estimé les vitesses de croissance et la productivité de 18 cultivars d'*Ulva* sp. issus de populations naturelles de la baie de Plenty (en Nouvelle-Zélande) et ont mis en évidence une variabilité inter-cultivars des performances de croissance.
- Sato *et al.* (2021) ont montré que la productivité d'*Ulva prolifera* pouvait être améliorée en sélectionnant des cultivars performants issus de zoospores asexués.

La faisabilité technique d'un protocole de culture d'*Ulva* sp. en bassins extérieurs a été validée par Zertuche-González *et al.* (2021) à l'échelle d'une année et d'une ferme aquacole.

2.5.3.5.3. Cosmétiques/pharmaceutiques

Le potentiel de valorisation d'*Ulva* spp. dans le domaine pharmaceutique a fait l'objet d'une review (Shobier et El Ashry, E. S. H. 2021) et de quatre articles scientifiques (Eldrin De Los Reyes Arguelles et Arsenia B. Sapin 2021; Jiang *et al.* 2021; Pakingking, Rolando, Jr. *et al.* 2022; Chung *et al.* 2021). Ces études montrent qu'*Ulva lactuca*, *Ulva pertusa* et *Ulva prolifera*, de par leur composition chimique, présentent des activités anti-bactériennes, anti-fongiques, anti-oxydantes, anti-inflammatoires et anti-cancer d'intérêt. Arguelles et Sapin (2021) démontrent notamment qu'*U. prolifera* inhibe l'activité de pathogènes bactériens résistants à la pénicilline (*Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis*, et *Pseudomonas fluorescens*). De la même manière, des extraits issus d'*U. pertusa* ont fortement limité la croissance des bactéries *S. aureus*, *Escherichia coli*, *Streptococcus agalactiae*, *Aeromonas hydrophila*, *A. sobria*, et *Vibrio harveyi* (Pakingking *et al.* 2021). Par ailleurs, les polysaccharides issus d'*U. prolifera* ont été valorisés dans la préparation d'un hydrogel utilisé comme pansement pour la peau humaine (Jiang *et al.* 2021). Les auteurs montrent que cet hydrogel favoriserait le développement et la migration cellulaire au niveau de l'épiderme humain (tests *in vitro*) et accélèreraient la cicatrisation chez le rat (tests *in vivo*). Enfin, *U. lactuca* posséderait également des propriétés anti-UV-B, pouvant être potentiellement utilisées pour protéger la peau de l'homme des méfaits des ultraviolets (Chung *et al.* 2021).

2.5.3.5.4. Energie

Dave *et al.* (2021) ont développé un modèle, basé sur le principe du réseau neuronal artificiel, visant à évaluer la production de bioéthanol issue de la fermentation de biomasse macroalgale ; l'objectif étant de déterminer les paramètres optimaux permettant d'obtenir le maximum de produit. Le modèle a été développé à partir d'une production de bioéthanol réalisée par fermentation d'*Ulva prolifera* et en faisant varier plusieurs paramètres (*i.e.* concentration du substrat, temps de fermentation, taille de l'inoculum, température, vitesse d'agitation et pH).

2.5.3.5.5. Bio-indicateurs

Le potentiel d'utilisation des ulves comme bio-indicateurs de l'état écologique de l'environnement côtier a fait l'objet de deux reviews en 2021 (Areco, Salomone et Afonso 2021; D'Archino et Piazzini 2021). *Ulva lactuca* a plus particulièrement été ciblée par Areco *et al.* (2021).



2.5.3.5.6. Bio-remédiation

Plusieurs études publiées en 2021 ont mis en évidence le potentiel d'utilisation d'*Ulva lactuca* pour épurer différents types d'eaux (i.e. effluents industriels ou issus du ruissellement des eaux des bassins versants) chargées en composés chimiques indésirables tels que le bleu de méthylène (M'sakni et Alsufyani 2021), les nitrates et phosphates (Bews et al. 2021), l'antracène (González et al. 2021) ou encore les métaux lourds et polluants organiques (Areco, Salomone et Afonso 2021). *Ulva fasciata* a également montré de bonnes capacités d'abattement en azote dans les effluents de maricultures (Shahar et Guttman 2021).

2.5.3.5.7. Bio-matériaux

Les ulvanes, polysaccharides sulfatés issus des algues vertes, ont été utilisées pour créer des substances porogènes naturelles (Lakshmi, Saxena et Dass 2021) ; une alternative prometteuse aux substances commerciales existantes. La concentration en ulvanes appliquée a permis de faire varier la porosité de la substance.

Sur la base des études publiées dans la littérature scientifique, Coiai *et al.* (2021) discutent également du potentiel d'utilisation des ulvanes dans la préparation de biomatériaux fonctionnels. Cette review fait un état des lieux des méthodologies d'extraction de ces composés et souligne que leur production à l'échelle industrielle n'a pas encore été mise en place.

Une dernière étude a synthétisé du charbon actif à partir d'*Ulva prolifera* (Li et al.). Ce charbon actif a été intégré dans une cathode au sein d'un système de déionisation, qui a été plus performant que le système actuellement commercialisé. Les auteurs ont ainsi mis en évidence le potentiel d'utilisation de ce bio-charbon dans la fabrication d'électrodes hautement performantes pour les systèmes de déionisation.

2.5.3.5.8. Valorisation d'autres macroalgues que les algues vertes

Reviews générales

En 2021, deux revues générales ont été réalisées concernant i) les avancées biotechnologiques sur la bioraffinerie des macroalgues dans un contexte d'économie circulaire (Kostas et al. 2021) et ii) l'utilisation de macro algues comme « usine vivante » ou réducteur naturel pour la production de nanomatériaux métalliques (Li, Wang et Ho 2021).

Les macroalgues brunes

Un état de l'art des recherches menées sur les blooms de sargasses des Caraïbes (sources, biologie, écologie, distribution, voies de valorisation, impact socio-économique, gestion) a été réalisé par López-Contreras *et al.* (2021). Selon les auteurs, la transformation des biomasses de sargasses échouées en biocarburant et en produits agricoles (fertilisant, complément pour l'alimentation animale) représenterait la voie de valorisation la plus prometteuse au niveau des Antilles néerlandaises. Avant de mettre en place une filière de valorisation, plusieurs verrous ont été identifiés concernant le manque de connaissance sur la disponibilité en biomasse algale, les impacts environnementaux du ramassage et des lixiviats, et les impacts sociaux-économiques.

En 2021, une étude a analysé la composition biochimique et élémentaire de trois espèces de sargasses (*Sargassum natans I (SnI)*, *S. fluitans III (Sf)* et *S. natans VIII (SnVIII)*) afin d'identifier les voies de valorisation de la biomasse échouée les plus prometteuses (Davis et al. 2021). Leurs résultats montrent que la composition élémentaire varie en fonction des espèces : SnI et Sf accumulent de plus grandes quantités de métaux et de métalloïdes en comparaison de SnVIII, qui contient en revanche de plus grandes quantités de polysaccharides phénoliques et non-cellulosiques, et de mannitol. Dans toutes les espèces, des teneurs en



arsenic élevées ont été mesurées, ce qui contraint leur utilisation pour l'alimentation. Par ailleurs, leurs faibles concentrations en alginates ne permettent pas d'envisager l'extraction de ces composés à des fins commerciales.

Les macroalgues rouges

Gendron-Lemieux *et al.* (2021) ont mené de premiers essais concluants de culture de *Porphyra* sp. à partir des effluents de viviers de homards, concentrés en ammoniacale. Une montée en échelle des expérimentations est nécessaire pour évaluer la faisabilité technique et économique du procédé de culture.

Les propriétés d'absorption en azote de l'algue *Asparagopsis armata* ont été étudiées dans le but d'optimiser les méthodes de culture, qui représente un enjeu d'intérêt pour sa valorisation en alimentation animale (Torres *et al.* 2021). *Asparagopsis* sp. permettrait en effet de diminuer efficacement la production de méthane par les ruminants. Les résultats montrent que l'ammonium est la forme azotée inorganique préférentiellement absorbée par *A. armata*, et que les vitesses d'absorption en acides aminés sont beaucoup plus élevées que celles des composés inorganiques.

2.5.3.6. Caractérisation des algues vertes

L'outil moléculaire a été utilisé dans le cadre de plusieurs études pour identifier les espèces en lame du genre *Ulva* sp., difficilement identifiables sur la base de leurs critères morphologiques. Ces études, détaillées dans le Tableau 1, ont notamment permis de revoir la taxonomie et la niche écologique de plusieurs espèces :

- ***U. lacunculata*** présente une forte similarité génomique avec *U. armoricana.*, et est observée partout dans le monde (Dartois *et al.* 2021 ; Hughey *et al.* 2021a).
- ***U. rotundata*** est génétiquement similaire à *U. lactuca* (Hughey *et al.* 2021a).
- ***U. rigida*** est une espèce présente uniquement dans l'Atlantique, en Europe (Dartois *et al.* 2021 ; Hughey *et al.* 2021a).
- ***U. australis*** est un synonyme d'*U. laetivirens*, *U. pertusa* et *U. spathulata* (Dartois *et al.* 2021 ; Hughey *et al.* 2021b).
- ***U. conglobata*** est une espèce distincte d'*U. australis* et de ses synonymes (Hughey *et al.* 2021b).
- ***U. ohnoi*, *U. fasciata*, *U. reticulata* et *U. gigantean*** sont génétiquement différents (Kang *et al.* 2021 ; Cai *et al.* 2021)
- ***U. compressa*** présente des similarités génomiques avec *U. mutabilis*, *U. prolifera* et *U. linza* (Cai *et al.* 2021)

Trois études ont également documenté des développements technologiques liés à l'outil moléculaire. Une nouvelle méthode de séquençage a notamment été développée pour permettre une identification des espèces d'ulves en lame au sein d'une biomasse algale composée de plusieurs espèces (Fort *et al.* 2021). Cette méthode peut également être utilisée pour détecter des espèces hybrides. Weinberger *et al.* (2021) ont développé une méthode de détection, basée sur un séquençage ADN de nouvelle génération, adapté à l'analyse de traces d'ADN dans des échantillons d'eau. Les auteurs montrent que cette technique représente une nouvelle approche pour détecter des espèces « rares » qui n'ont jamais été observées/identifiées dans une zone donnée. Cela leur a notamment permis de découvrir la présence de l'espèce *Blidingia* au nord de l'Allemagne. Enfin, une dernière étude a utilisé la technique FISH (*Fluorescence in situ hybridation*), basée sur du marquage par fluorescence, pour localiser les marqueurs moléculaires ITS



(*internal transcribed spacer* ou espaceur interne transcrit) et 5S rDNA (5S ADN ribosomal), utilisés pour l'identification des espèces d'algues vertes (Zhao et al. 2022). Les tests réalisés sur *Ulva prolifera* ont permis de déterminer pour la première fois la localisation de ces marqueurs au niveau de gènes.

2.5.3.6.1. Composition

Une étude a proposé un protocole opératoire pour extraire les xanthophylles et chlorophylles chez *Ulva rigida* (Martins et al. 2021) et trois études se sont intéressées à la composition chimique des ulves (Moreira et al. 2021; Pakingking, Rolando, Jr. et al. 2022; Triikka et al. 2021) :

- Au moyen d'une analyse phytochimique qualitative et quantitative, Pakingking *et al.* (2022) ont révélé la présence de plusieurs composés bioactifs chez *Ulva pertusa*, incluant des alcaloïdes, des flavonoïdes, des phénols, des saponines, des tannins et des terpénoïdes.
- L'analyse de la composition élémentaire et des contenus en acides et en polyphénols de huit espèces d'algues des côtes grecques (dont *Ulva lactuca*, *Acanthophora nayadiformis*, *Ceramium* sp., *Codium fragile*, *Cystoseira foeniculacea* et *Gongolaria barbata*, *Dictyopteris polypodioides*,) a permis de montrer qu'*Ulva lactuca* se caractérisait par les contenus en acide docosahexaénoïque les plus élevés (Triikka et al. 2021).
- Moreira *et al.* (2021) ont comparé la composition chimique (*i.e.* acides gras, lipides polaires) d'ulves commercialisées issues de deux pays européens différents, la France et le Portugal. Cette étude a notamment permis de montrer des différences notables en termes de protéines, lipides, carbohydrates et acides gras insaturés entre ces deux algues d'origines différentes.

2.5.3.6.2. Cycle de vie

L'évolution saisonnière des caractéristiques physiologiques d'*U. prolifera* (*i.e.* capacité photosynthétique, contenu en chlorophylle, dégradation cellulaire) en Mer Jaune a été étudiée par Hao *et al.* (2021), afin de comprendre les mécanismes écologiques associés au déclin de la marée verte. Ils concluent que l'augmentation de la température de l'eau et de l'intensité lumineuse en fin de saison (en août) réduisent les capacités photosynthétiques d'*U. prolifera* et détruisent le système anti-oxydant du thalle, engendrant alors une diminution de la biomasse.



Tableau 1. Synthèse des six études ayant réalisé l'analyse moléculaire d'*Ulva* spp. entre mars 2021 et mars 2022.

Auteurs	Zone géographique	Espèce d'algue	Objet	Principaux résultats
Cai et al. (2021)	Chine (Mer Jaune)	<i>Ulva compressa</i>	Séquençage du génome des chloroplastes	Le génome des chloroplastes d' <i>U. compressa</i> présente des similarités à celui d' <i>U. mutabilis</i> (au niveau des queues des gènes) et ceux d' <i>U. prolifera</i> et <i>U. linza</i> (en termes de répétitions des séquences sens/palindromiques/en tandem). En revanche, les génomes d' <i>U. ohnoi</i> et <i>U. fasciata</i> étaient divergents. Le gène <i>petA</i> a été identifié dans le chloroplaste comme marqueur génétique potentiel, au même titre que <i>tufA</i> .
Dartois et al. (2021)	France (Atlantique)	<i>Ulva rigida</i>	Analyse moléculaire de 339 échantillons d'ulves en lame basée sur la technique du barcoding (utilisation des marqueurs <i>tufA</i> et <i>rbcl</i>)	L'espèce <i>U. armoricana</i> correspond à l'holotype <i>U. lacinulata</i> . <i>U. australis</i> est une espèce introduite en Bretagne. <i>U. fenestrata</i> et <i>U. rigida</i> sont présentes en Bretagne Sud.
Hughey et al. (2022)	Europe	<i>Ulva rigida</i> <i>Ulva lacinulata</i>	Séquençage du génome du plastide entier	L'espèce holotype <i>U. rigida</i> se limite à l'Europe, dans l'Atlantique. L'espèce holotype <i>U. lacinulata</i> a une distribution mondiale et présente une forte similarité avec <i>U. armoricana</i> . L'espèce holotype <i>U. rotundata</i> apparaît identique à <i>U. lactuca</i> .
Hughey et al. (2021)	Australie, Japon	<i>Ulva australis</i> <i>Ulva conglobata</i> <i>Ulva laetevirens</i> <i>Ulva pertusa</i> <i>Ulva spathulata</i>	Séquençage du génome des chloroplastes	<i>U. laetevirens</i> , <i>U. pertusa</i> et <i>U. spathulata</i> sont des synonymes d' <i>U. australis</i> . <i>U. conglobata</i> est une espèce distincte à <i>U. australis</i>
Kang et al. (2022)	Corée (Côte Est)	<i>Ulva grossa</i>	Séquençage de l'ADN ribosomique	La comparaison aux séquences génomiques des espèces <i>U. ohnoi</i> , <i>U. fasciata</i> , <i>U. reticulata</i> et <i>U. gigantean</i> montre une divergence génétique inter-spécifique.
Melton et al. (2021)	Etats-Unis (Golfe du Mexique)	<i>Ulva aragoënsis</i> <i>Ulva californica</i> <i>Ulva meridionalis</i> <i>Ulva tepida</i>	Analyse moléculaire de 247 échantillons d'ulves basée sur la technique du barcoding (utilisation des marqueurs <i>rbcl</i> , <i>tufA</i> , et ITS1-5.8S-ITS2).	Seize groupes monophylétiques ont été mis en évidence dont 13 dont pu être caractérisés. Quatre espèces ont été pour la première fois identifiées dans cette zone, à savoir <i>U. aragoënsis</i> , <i>U. californica</i> , <i>U. meridionalis</i> , et <i>U. tepida</i> .



3. CONCLUSION – PERSPECTIVES

L'action d'expertise, d'information et de soutien aux collectivités dans la lutte contre les marées vertes s'est poursuivie en 2021 à un niveau encore plus soutenu que les années antérieures. Les acteurs des SAGEs sont les premiers interlocuteurs et demandeurs d'informations en particulier en cette année charnière de redéfinition des objectifs des territoires (PLAV2/PLAV3). Le grand public (via les médias) et le milieu éducatif ont également fortement sollicité le CEVA en particulier du fait des « anomalies » dans les proliférations 2021 : grande précocité de certains secteurs (Baie de Saint Briec, de la Fresnaye et vasières du Sud Bretagne) et retard de la plupart des autres (Baie de Saint Michel, de Douarnenez, de la Forêt), puis prolifération soutenue sur la baie de Saint Briec jusque tard dans l'hiver, Les différentes commissions (Cour de Comptes, commission des finances du Sénat, HCSP) expliquent aussi des demandes importantes sur 2021, tout comme la mise en place de réflexion sur du ramassage innovant (ramassage en rideau pour limiter, les reconductions et les situations de putréfaction dans des zones difficilement accessibles au ramassage « traditionnel»). Ces réflexions ont été jusqu'à la définition d'un cahier des charges et le lancement d'un appel d'offre pour la construction d'un bateau en été 2022.

Une part importante du programme CIMAV P1 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 2021, en plus de ces analyses sur le printemps puis l'été, le CEVA a réalisé une évaluation des stocks de reconduction d'ulves pour consolider la perception de la précocité attendue des proliférations 2021.

Le flux de l'année hydrologique 2021 a été, comme celui de 2020 mais à un niveau moindre, **excédentaire par rapport à la situation moyenne** (+ 20 % par rapport à 2010-2020). Cet excédent annuel est lié à des **situations mensuelles assez contrastées** : très fort excédent en octobre 2020 (+ 220 % par rapport à 2010-2020), encore élevé en décembre et janvier (+ 60 %) et plus proche des moyennes en novembre et février. Ces excédents « automne/hiver » sont surtout liés à des précipitations excédentaires (entre 15 et 50 % d'excédent pluviométrique sur octobre 2020 – février 2021, suivant les stations). La faible pluviosité à partir de février explique ensuite la forte diminution des flux qui deviennent **déficitaires en mars** (- 37 % par rapport à la moyenne 2010-2020) et le restent jusqu'en juin. **Sur la « période la plus sensible » aux proliférations, le flux moyen mesuré à l'exutoire des cours d'eau suivis apparaît inférieur à la moyenne pluriannuelle** (- 24 % par rapport à 2010-2020). Cela est lié à des flux en mars à juin inférieurs aux moyennes qui ne sont pas contrebalancés par des flux « moyens » ou légèrement excédentaires en juillet – août. Ce niveau « régional estimé » masque des **réalités locales très contrastées. Ce niveau « régional » est cependant à considérer localement** : en effet les flux étaient **très excédentaires sur la période « sensible »** aux proliférations sur le **centre et l'Est des Côtes d'Armor** (+ 175 % et + 75 % respectivement sur la Fresnaye et la Baie de Saint Briec sur la période juin-août) alors qu'ils sont restés **inférieurs aux moyennes sur les cours d'eau de l'ouest Bretagne**. Ces différences, sont liées à des contextes pédoclimatiques différents, et aussi / surtout à des **pluviosités estivales qui ont été très contrastées** (très forts orages sur le centre et l'Est des Côtes d'Armor entre mi-juin et mi-juillet : 3.4 fois plus de pluie que la normale sur un mois sur Dinard, par exemple). Il est à noter que ces situations d'orages violents, entraînant des excès pluviométriques très forts (plus particulièrement sur le centre et l'est des Côtes d'Armor), se retrouvent tous les ans depuis 2016 en juin ou parfois fin mai.

Les **6 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 (re-fertilisation importante à une période clé). En 2021, les concentrations en nitrates sont en légère baisse par rapport à 2020 (année qui avait vu les concentrations remonter) et se situent en moyenne au même niveau qu'en 2019 (variable suivant les cours d'eau considérés).

Le programme 2021 a également permis d'analyser la reconduction attendue sur 2021-2022 (analyse des stocks de reconduction, des paramètres de dispersion, température de l'eau et lumière) et de conforter cette analyse par la réalisation d'un survol le 4 mars et d'opérations d'évaluation de terrain. Les données recueillies ont permis d'annoncer une prolifération 2022 avec un démarrage différent attendu selon les secteurs : un démarrage très précoce en baie de Saint Briec et baie de la Fresnaye et retardé sur les autres sites.

Le volet « Veille » a permis, encore en 2021, de répertorier les publications (de Rang A) nationales et internationales sur les phénomènes de proliférations algales liés à des conditions d'eutrophisation des eaux marines côtières du globe. Cette veille a pour objectifs d'identifier i) les dernières avancées sur la connaissance des proliférations (e.g. taxonomie et facteurs de contrôle des proliférations). La performance croissante des outils moléculaires à disposition permettent aujourd'hui de clarifier la nomenclature complexe des algues vertes de type *Ulva* sp. et ii) les moyens mis en œuvre pour la reconquête de la qualité de l'eau ainsi que iii) les voies de valorisation de ces macroalgues proliférantes. En effet, divers marchés (e.g. agriculture, aquaculture, énergie, biomatériaux) sont aujourd'hui identifiés afin d'utiliser cette matière première souvent qualifiée de « déchets ».



ANNEXES



Annexe 1

(principales interventions de mars 2021 à mars 2022)

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 ».
(15/03/2021 au 15/03/2022)

Appui aux collectivités sur les marées vertes et moyens de lutte

- 16 03 2021 : Pays de Brest : demande d'éléments sur les proliférations d'algues sur le territoire, dans le cadre de l'élaboration du Contrat de Relance et de Transition Ecologique (CRTE) du Pays de Brest. Fournitures d'une note présentant les sites concernés, les surfaces d'échouage et les volumes de ramassage + cartes de synthèse à l'échelle de ce territoire et comparaison avec le niveau départemental.
- 17 03 2021 : commission des finances du Sénat : audition par le Sénateur Bernard Delcros sur la situation AV, évolutions mesurées et impact des programmes de lutte.
- 18 03 2021 : comité de pilotage « modélisation baie de Saint Briec » TNT2 + mars Ulves
- 25 03 2021 : comité de pilotage du programme Cimav : point sur les proliférations 2020 et perspectives 2021, actions d'information/expertise, expérimentations P3.
- 01 04 2021 : élus de la Lieue de Grève : préparation saison 2021, présentation connaissances MV sur les communes du territoire.
- 12 04 2021 : bilan 2020 de la situation AV sur l'anse du Dossen, production note synthèse.
- 16 04 2022 : CLE du Sage de la baie de Saint Briec, dont situation AV (bilan 2020 et prévisions 2021).
- 21 04 2021 : étude Moulin de la Rive : réunion spécifique au sujet des flux issus des STEP pour éventuellement les intégrer à l'étude des proliférations d'ulves.
- 30 04 2021 : cadre étude Moulin de la Rive : analyse pour Morlaix Co des débits des cours d'eau locaux à considérer pour étude modélisation. Note de synthèse et fourniture des fichiers de calcul.
- 06 05 2021 : Parc Naturel Marin d'Iroise : point sur la situation AV sur la baie de Douarnenez, apparition nouvelles espèces, évolution des indicateurs... puis transmission données indicateurs.
- 07 05 2021 : Syndicat Mixte Léon Trégor : évaluation des flux aux abords des vasières : préconisation mesures complémentaires...
- 08 06 2021 : séminaire algues vertes : présentation des projets dont Plav 2 modélisation, Identification des Zones à Risques (Izar), Impro + ateliers l'après-midi.
- 09 06 2021 : réunion PNMI : algues vertes et indicateurs.
- 14 06 2021 : Groupe d'appui scientifique au PLAV.
- 22 06 2021 : Saint Briec, dans le cadre du groupe d'appui scientifique : formation des nouveaux élus sur le sujet des algues vertes
- 24 06 2021 : Lorient : Agglo : réunion publique de diagnostic de la situation locale algues vertes et cas de la gestion des étangs / risque de prolifération, de putréfaction....
- 29 06 2021 : Groupe d'appui Scientifique au PLAV : réunion pour débriefer de la session de formation des élus. Bilan/perspectives.
- 01 07 2021 : comité de pilotage étude Mars Ulves TNT2
- 05 07 2021 : réponse et fourniture données à l'Association pour la protection de la Rivière de Crac'h : bilan de la protection de la qualité de l'eau et actions engagées
- 06 07 2021 : création de cartes à l'échelle de Saint Briec Agglomération sur les échouages d'algues vertes sur les années 2016-2020 d'avril à octobre : cadre plan Santé environnement.
- 08 07 2021 : journée spéciale « algues vertes sur vasières » à Plourivo + visite de terrain (Lédano) pour les membres de l'APPCB (Assemblée Permanente des Présidents de Clé de Bretagne).
- 20 07 2021 : Saint Michel en Grève : Restitution travaux de la Cour des Comptes + échanges.
- 20 07 2021 : synthèse données de suivis pour le tableau de bord du CRB.
- 01 09 2021 : Groupe d'appui scientifique au PLAV : réunion à Rennes.
- 02 09 2021 : réunion de travail avec la cellule animation du Sage Golfe 56 Ria d'Étel : flux et proliférations observées ; autre données explicatives....
- 21 09 2021 : réunion AELB sur les réseaux actuels de surveillance et leurs évolutions, historiques des données...
- 27 09 2021 : OFB : informations CEVA à disposition sur le secteur de la baie du Mont Saint Michel : observation de putréfaction et lien avec les algues ou moules en décomposition.
- 28 09 2021 : note rapide pour la MIRE au sujet de la situation de la Rance et algues vertes (PNR).

- 28 09 2021 : réunion de travail cellule animation Sage Golfe 56 Ria d'Étel sur les éléments de descriptions des proliférations et lien avec les paramètres environnementaux.
- 29 09 2021 : commission littorale de l'AELB au CEVA : historique des suivis réalisés, éléments clés qui ressortent, moyen de lutte préventifs et curatifs.
- 04 10 2021 : réponse Ville de Vannes sur intérêt des réflexions sur le déplacement de l'émissaire de Tohannic et son impact sur les proliférations d'AV.
- 07 10 2021 : Pour la CCPL (Lesneven Côtes des Légendes) : synthèse des EQR de la ME et évolutions, explications.
- 07 10 2021 : Pour LTC : information sur situation algues vertes dans le secteur de Port Blanc/Trévou Tréguignec suite au « malaise » d'un chiot imputé (?) aux algues.
- 12 10 2021 : commission AV de la baie de Guissény : situation AV, évolution, causes....
- 13 10 2021 : groupe de travail du groupe d'appui scientifique au Plav / positionnement sur les formes que doit prendre l'appui.
- 19 10 2021 : synthèse des données à l'échelle du périmètre du Sage de la Baie de Saint Briec pour le tableau de bord de la CLE.
- 20 10 2021 : Groupe scientifique d'appui au Plav : réunion avec la coordination régionale sur les formes que pourrait prendre l'appui au Plav et montage d'un programme de recherche transdisciplinaire sur les transitions agricoles.
- 21 10 2021 : Commission AV de la Baie de la Forêt et situation mesurée sur les AV et autres algues.
- 21 10 2021 : avec cellule d'animation du Sage Golfe 56 Ria Etel : reprise données flux et autres données pour expliquer les évolutions relevées des dernières années.
- 22 10 2022 : A Lamballe : CLE de la baie de Saint Briec et situation AV 2021.
- 08 11 2021 : audition par le groupe technique du HCSP sur l'impact des algues vertes sur la santé y compris faible dose (chronique et moyens de prévenir les risques).
- 15 11 2021 : information de l'AELB sur l'étude par modélisation du secteur Loir Vilaine et principaux éléments opérationnels. Synthèse des principaux éléments de l'étude.
- 18 11 2021 : pour LTC : données disponibles pour déterminer les objectifs de qualité de l'eau à atteindre sur la baie de Saint Michel en Grève.
- 19 11 2021 : CLE de la Baie de Saint Briec à Ploufragan (Ispaia)
- 22 11 2021 : comité de pilotage du PLAV : présentation de la situation AV 2021.
- 29 11 2021 : DCSMM : envoi données pour tableau de suivi.
- 10 12 2021 : réunion Sage Rance : éléments d'analyse des flux arrivant en Rance et lien avec les AV observées.
- 13 12 2021 : CLE du Sage de la baie de Douarnenez à Plomodierne: présentation situation AV et objectifs à atteindre.
- 14 12 2021 : pour le SAGE baie de Lannion : fourniture données actualisées sur le SAGE Baie de Lannion : position des échouages et évolution phénomène sur le périmètre du Sage, espèces rencontrées, occurrences des dépôts....
- 15 12 2021 : ARS et situation putréfaction relevées sur la baie du Mont Saint Michel (lien Algues, moules ?).
- 15 12 2021 : SBAA : ramassages envisagé avec barge Thomsea. Connaissance du système, essais réalisés, potentialités...
- 20 12 2021 : SBAA + M. Moser / potentialité ramassage ulves en rideau avec système développé pour les lentilles d'eau.
- 21 12 2021 : suite travail OFB + transmission note sur la situation des années antérieures sur la baie du Mont Saint Michel, putréfactions identifiables sur la collection de photos CEVA acquise dans le cadre des marées vertes.
- 03 01 2022 : SBAA : situation AV 2021 en baie et ramassage + info machines utilisables pour les dépôts en place.
- 10 01 2022 : SBAA : retour sur les expériences antérieures de ramassage en baie de Douarnenez et Moulin Blanc et perspectives pour la baie de Saint Briec.
- 12 01 2022 : Rencontre au CEVA d'E. Guillet, Sous-préfet « expert de haut niveau AV et transition écologique » : rôle du Ceva, suivis, connaissances des phénomènes, objectifs à atteindre...
- 14 01 2022 : réunion du groupe d'appui scientifique au PLAV
- 18 01 2022 : réunion cellule animation du Sage de la baie de Douarnenez : analyse de la validité des données locales de débit suite à mise en évidence par le Ceva d'incohérences dans les évolutions mesurées.
- 21 01 2022 : Morlaix Communauté : données disponibles et à acquérir pour répondre à la problématique des algues vertes sur les vasières de Morlaix/Penzé.

- 21 01 2022 : SBAA : ramassage hivernales des algues et protocole utilisable pour faire de premiers suivis hivernaux sur la baie de Saint Brieuc.
- 26 01 2022 : pour les communes de LTC, dans le cadre des profils de baignade des communes de Trédrez Locquémeau, Beg Léguer et Trébeurden, Nantouar et Pleubian : fourniture d'une note de synthèse actualisées sur les types d'algues en prolifération, les occurrence des phénomènes et leurs dates, la position des échouages (cartographie des positions pluriannuelles sur les différentes plages) et évolutions mesurées des surfaces couvertes.
- 02 02 2022 : Réunion du comité de pilotage de l'étude Moulin de la Rive : panache cours d'eau, et transport ulves.
- 04 02 2022 : ARS Bretagne : synthèse connaissances H2S et croisement avec rapport HCSP.
- 07 02 2022 : dans le cadre du Groupe d'appui scientifique au Plav, rencontre d'E. Guillet : travaux et réflexions scientifiques sur les différents aspects de la problématique AV et les principaux enjeux en terme de connaissances pour aller plus loin dans l'action et atteindre les objectifs affichés dans les territoires.
- 07 02 2022 : suite à demande de l'ARS, fourniture des données issues du rapport Izar (risque H2S) sous forme SIG afin de déterminer les secteurs les plus propices à l'installation de capteurs.
- 23 02 2021 : échanges sur la situation de l'Odet dans le cadre du profil de vulnérabilité conchylicole sur l'estuaire de l'Odet pour le SIVALODET (BE Casagec).
- 24 02 2022 : demande de Lorient Agglo de disposer de données actualisées de la situation sur la rade. Echanges et production cartographie des dépôts pluriannuels intégrant 2020 à mailles de 25m.
- 25 02 2022 : CLE de la Baie de Saint Brieuc : point spécial autour des AV : description du phénomène et éléments à disposition pour la détermination des objectifs en concentration et flux sur la baie de Saint Brieuc.
- 08 03 2022 : comité de pilotage du programme Cimav : présentation des principaux résultats des suivis 2021, flux, informations sur le phénomène, écophysologie des algues...
- 09 02 2022 : réunion DDTM22 + Agglo Dinan : données d'objectifs à atteindre en flux, concentration, sur la baie de la Fresnaye.
- 14 03 2022 : réunion ARS, DDTM, MIRE, Préfecture pour la détermination des emplacements des capteurs H2S sur le territoire breton.
- 14 03 2022 : échanges SBAA sur possibilité, intérêt d'utiliser des drones pour guider les chantiers de ramassages. Atouts, contraintes....
- 15 03 2022 : échanges Sage Rance sur les flux locaux et lien avec les proliférations. Recherches de la pertinence de l'utilisation de mesures de débits sur le Routhouan pour déterminer les flux des différents tributaires. Analyse critique de ces « nouvelles » données.

Autres réunions et rencontres techniques

- 18 03 2021 : Merl Consulting + Experts pollution (Brian Mitchell et Pierre Braillard) : réunion d'échanges autour de projet de mise en place de barrages « anti algues vertes » par ex. sur la baie de Saint Brieuc.
- 23 03 2021 : Olmix Sagatech (Fabien Danet) : demandes d'informations sur les volumes envisagés d'échouages, ramassage par secteur, précocité, etc... dans l'objectif de ramassage et valorisation des biomasses (envisagé jusqu'à 2500 T brutes par an).
- 02 04 2021 : deuxième réunion Merl Consulting-Experts Pollution + Mire : projet de barrage anti AV en baie de Saint Brieuc et installation capteurs « sonar » pour détecter présence d'algues.
- 09 04 2021 : essais en baie de Saint Brieuc et Port du Légué du navire Efinor de ramassage macrodéchets en baie de Saint Brieuc : matériel adapté au ramassage des AV ? adaptations à envisager ?
- 14 04 2021 : Arvorig solutions : échanges sur le phénomène AV, situation des algues, outils de type « peigne » pour les ramasser en pleine eau (outils développé par André Le Gall en rade de Brest).
- 20 04 2021 : Délégation Interministérielle aux Risques Majeurs Outre-Mer : réunion d'échanges, partage d'expériences, dans le cadre de la préparation du nouveau plan national de lutte contre les algues sargasses.
- 27 04 2021 : réunion Efinor + Mire : débrief essais réalisés en baie de Saint Brieuc et analyses des solutions adaptées au ramassage en rideau, en zone sensible,...
- 28 04 2022 : réunion visio avec Louise Schreyers (Hydrology and Quantitative Water Management Group, Wageningen University) au sujet de l'évaluation des proliférations d'algues vertes par images satellite (Landsat) sur chronique longue durée et biais engendrés par la méthode.

- 05 05 2021 : réunion préparatoire pour le séminaire : « journée d'étude DES VIES AVEC DES PLAGES Expériences, Interactions, Gestions »
- 07 05 2021 : Merl Consulting : analyse des possibilités d'utiliser des systèmes de pompage pour ramasser les algues en rideau, contraintes, limites, avantages....
- 18 05 2021 : journée d'étude « en mode webinaire » DES VIES AVEC DES PLAGES Expériences, Interactions, Gestions
- 19 05 2021 : réunion travail Arvorig Solutions et Mire : potentialité outil de ramassage en baie de type « peigne », utilisation des ulves pour alimentation crevettes...
- 28 05 2021 : François Corre : projet de plateforme de collecte des algues vertes en rade de Lorient. Faisabilité, contraintes. Envisage de créer une entreprise pour développer ce projet.
- 02 06 2021 : Julien Ballais : projet (vague) de monter une start up pour transformer le H₂S des AV en hydrogène. Besoin d'informations sur les volumes en jeu, la localisation, les périodes, etc...
- 23 06 2021 : réponse demande Ifremer sur cas de l'estuaire du Trieux et données disponibles sur les AV.
- 15 09 2021 : réunion d'échanges avec marin navigant (Samir Lounes) de Saint Malo qui souhaite s'investir dans une activité de ramassage des algues vertes. Contraintes, opportunités...
- 16 09 2021 : SBAA réunion (visio) d'échanges sur le ramassage des algues vertes et pistes de valorisation pour le territoire.
- 20 09 2021 : Istre et problématique des algues vertes et émission taux élevé de HCHO (formaldéhyde/méthanal)
- 19 10 2021 : SAS MERL-CONSULTING : réflexion autour de la création de pièges à algues vertes sur estran pour destockage.
- 28 10 2021 : Le Floc'h dépollution : cas du ramassage des algues vertes et fourniture photos, info des années antérieures.
- 29 10 2021 : SBAA à Saint Briec avec Le Floc'h dépollution et Mire : apport potentiels des outils et savoirs faire de l'entreprise pour le cas particulier des algues vertes. Contraintes spécifiques des échouages, des rythmes des dépôts, ...
- 04 11 2021 : entretiens avec Arvorig Solutions : nouvel outil de ramassage des algues en pleine eau (« peigne »), potentialités, limites, lieux d'expérimentation potentielle.
- 10 11 2021 : réunion Camping d'O : impact des algues vertes sur leur situation et réflexion sur des actions de ramassage envisageable, évolutions attendues du phénomène.
- 24 11 2021 : réunion Camping d'O : ramassage envisageable par l'utilisation d'un gros bateau collecteur initialement destiné à la dépollution pétrolière, contraintes, coûts envisageables, rendements à attendre, valorisation....
- 01 12 2021 : réunion Mire + E. Guillet + chantier Efinor / potentialité de ramassage AV en pleine eau.
- 09 12 2021 : réunion M. Guillaume Moser, société Jardin d'O ramassage AV en rideau avec système développé pour le pompage des lentilles d'eau.
- 10 12 2021 : Réunion DDTM 22 : possibilité de construction d'un navire spécifique pour le ramassage des algues vertes et contraintes / droit de navigation et d'homologation des navires.
- 20 01 2022 : réunion Mire, DDTM, DIRM, etc... au sujet des contraintes réglementaires pour la construction d'un navire spécifique au ramassage des algues en mer.
- 10 02 2022 : pour l'équipe DCSMM d'AMURE (UBO) : données sur l'évaluation des coûts de la dégradation du milieu marin pour le compte du ministère de la Transition écologique. En particulier les coûts annuels des suivis marées vertes entre 2017 et 2021 et leurs descriptions...
- 03 03 2022 : proposition ANR « Greenseas » : implication possible des acteurs dont Ceva sur description et modélisations historique des MV

Information sur les Marées vertes et le les moyens de lutte

- 15 03 2021 : association E.A.U. du Ter : impact de la gestion des vannes et communication entre les étangs sur la prolifération des algues vertes en rade.
- 21 04 2021 : demande de la réserve de Saint Briec d'information sur les proliférations d'ulves pour appuyer une publication sur le sujet (Anthony Sturbois).
- 23 04 2021 : rédaction/correction article de « vulgarisation » sur les algues vertes en Bretagne (Dossier de vulgarisation OEB).

27 04 2021 : Communiqué de Presse de la Mire puis interview demandée par « France 3 », « Ouest France » et « France Bleu » : situation av suite au vol d'avril, évolutions, perspectives, ...

28 04 2021 : journal de « M6 » : suivis bretons et situation av

29 04 2021 : interview « Le Télégramme » puis « France 3 » au CEVA : suivis av et évolutions observées, perspectives...

30 04 2021 : OEB : données AV pour site OEB et articles MV.

03 05 2021 : « France 2 » : situation av mesurée et rapport Cour des Comptes.

05 05 2021 : interview « France Culture » en baie de Saint Briec : situation AV, évolutions ces dernières années, problématiques nitrates, rapport Cour des Comptes...

25 05 2021 : « Le Parisien » : interview sur le cas des algues vertes sur vasières et putréfactions.

01 07 2021 : Demande « Envoyé spécial » : info sur AV cadre rapport Cour des Comptes

02 07 2021 : Demande « Libération » données sur évolution surfaces,... (article sur le rapport de la Cour comptes)

07 07 2021 : Pour l'INET (administrateurs territoriaux) contribution à la création d'un podcast sur les problèmes environnementaux auxquels les collectivités et les populations sont confrontées : cas des proliférations des algues vertes en Bretagne.

13 07 2021 : « France 3 » / explication situation algues vertes suite vols de juillet. « Ouest France » : idem.

20 07 2021 : suite remise rapport Cour des Comptes : interview « Le Monde » sur évolutions, actions engagées...

20 07 2021 : « Ouest France » Lorient sur situation locale de la vasière de Ter et putréfactions.

13 08 2021 : interview « Journal Pays Malouin » : prolifération AV en Bretagne et sur la Rance, cause, impacts, moyen de lutte préventifs et curatifs...

16 08 2021 : « Sud Radio » : Itw situation AV sur littoral sud et Bretagne

19 08 2021 : OEB : sorties des données actualisées pour mise en ligne sur la plateforme + explications suivis et métadonnées.

20 08 2021 : export des données pour la Dataviz de l'OEB

30 08 2021 : données pour la Réserve de la Baie de Saint Briec : synthèse des surfaces mesurées et évolutions depuis les années 1960.

01 09 2021 : Itw radio « RMC » sur AV et évolutions mesurées.

16 09 2021 : Itw « AFP » sur les évolutions mesurées des AV.

22 09 2021 : itw « France Info » au sujet du cas des chiens de Saint Michel en Grève et situation sur le lieu (Plestin, St Eflam).

23 09 2021 : TIPE : ulves et valorisation notamment dans les filières bioplastiques.

24 09 2021 : échanges avec « Le Télégramme » : voudrait monter un observatoire des surfaces couvertes ; informations à disposition pour éventuelle mise en ligne des informations sur leur site internet.

30 09 2021 : Vannes, cadre de l'AG de l'association Cap2000 et élus : présentation du cas des algues vertes dans le Morbihan et suivis réalisés, objectifs à atteindre, ...

04 10 2021 : réunion d'échanges avec étudiants en école de commerce / réalisation d'une étude sur le commerce durable et plus précisément sur la valorisation des algues vertes échouées sur les plages. Possibilités, contraintes de cette biomasse, ...

07 10 2021 : « Le Monde » : synthèse suivis 2021 et évolution, cause de ces évolutions...

14 10 2021 : Etudiants de l'ENSCR de Rennes : projet de communication sur les algues vertes en Bretagne.

14 10 2021 : « France Info » : Itw sur le phénomène AV et évolutions mesurées.

15 10 2021 : « L'Express » : point sur situation av en 2021 et cause des évolutions observées.

18 10 2021 : « Le Télégramme » : Itw sur la situation Bretagne et plus particulièrement cas de la baie de Douarnenez.

19 10 2021 : Groupe Technique « Qualité du milieu » de France Océan sur la question des algues vertes en Bretagne

22 10 2021 : « Le Télégramme » : situation AV en Bretagne et plus particulièrement sur la baie de Saint Michel en Grève.

28 10 2021 : étudiants en quatrième année à l'INSA de Rennes, département Génie Physique et Matériaux : échanges sur projet « Algues vertes ». Dans le cadre du module « Entreprendre et Innover », recherches de données pour quantifier et analyser les ramassages et les traitements actuels.

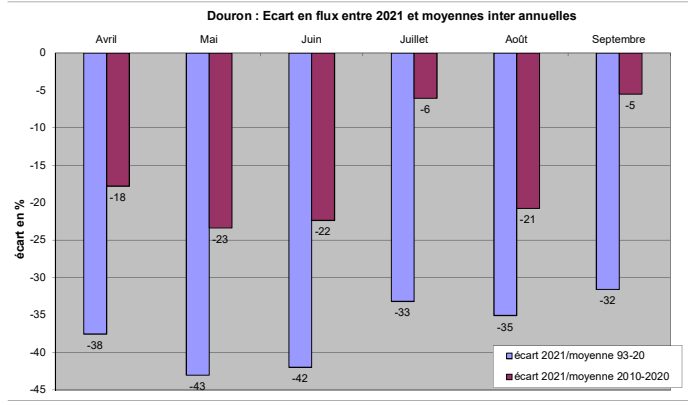
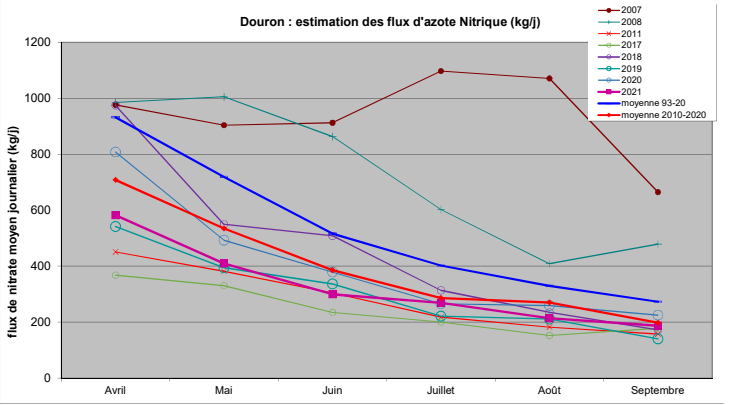
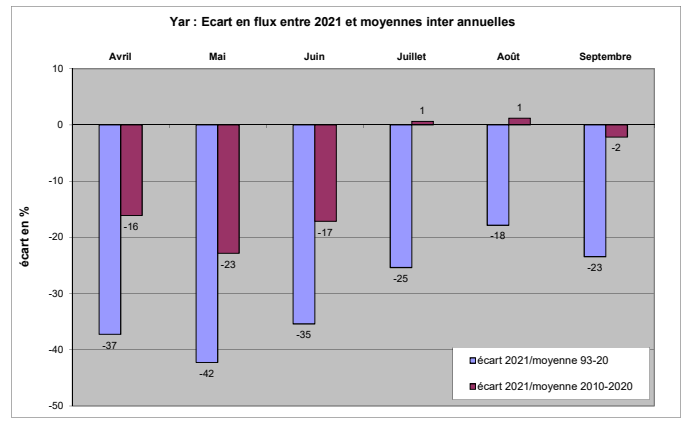
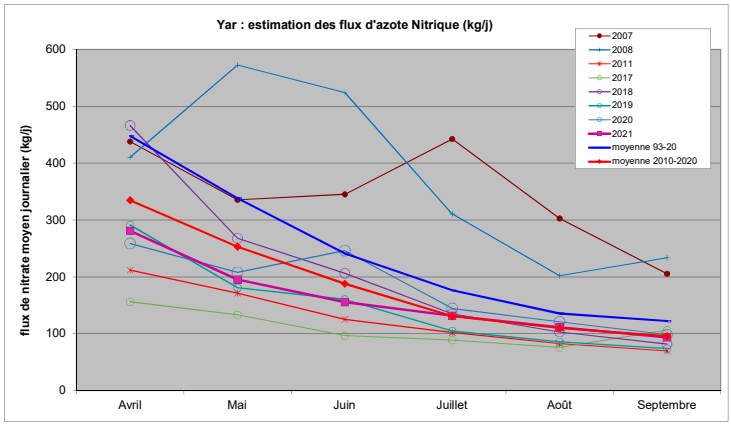
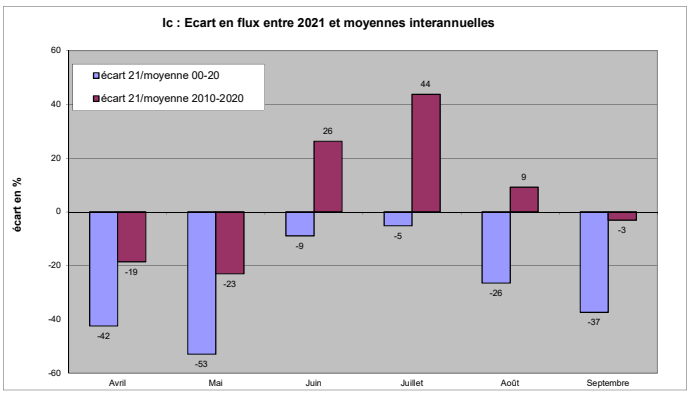
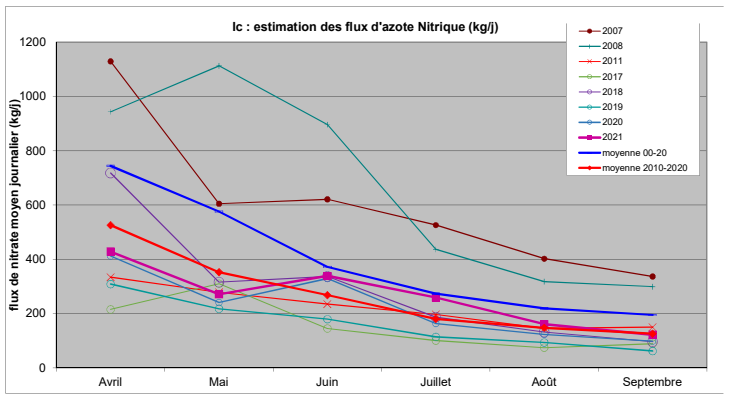
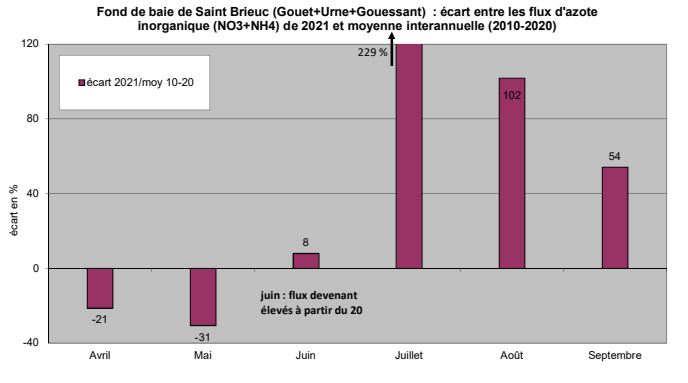
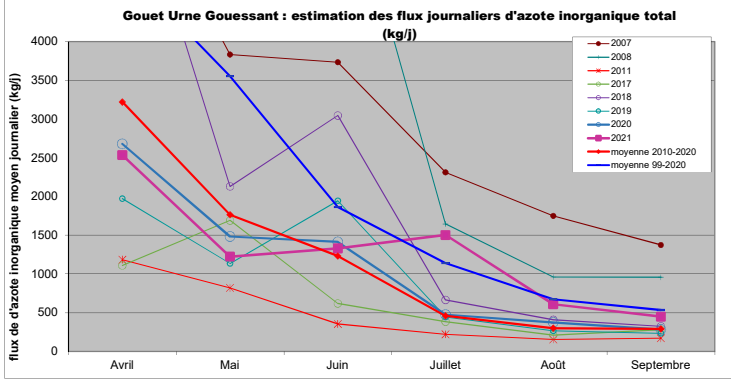
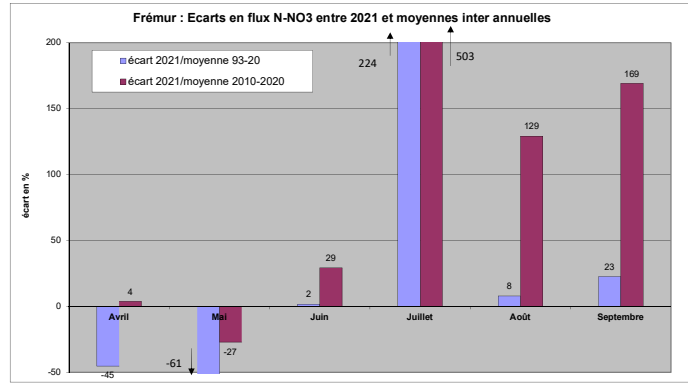
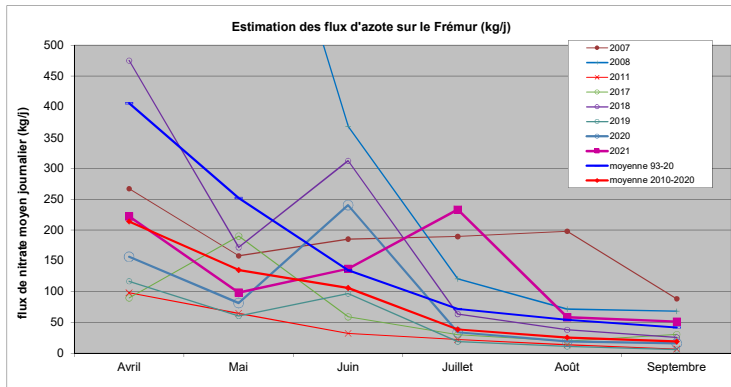
03 11 2021 : réunion d'échanges avec étudiants en école de commerce / réalisation d'une étude sur le commerce durable et plus précisément sur la valorisation des algues vertes échouées sur les plages. Possibilités, contraintes de cette biomasse, ...

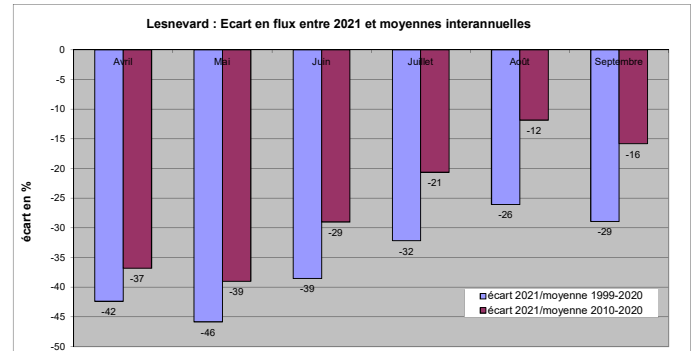
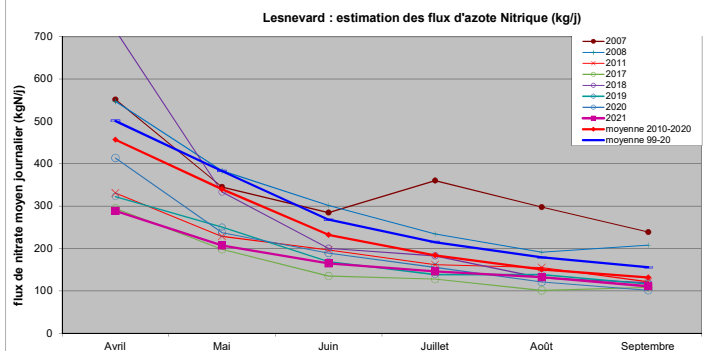
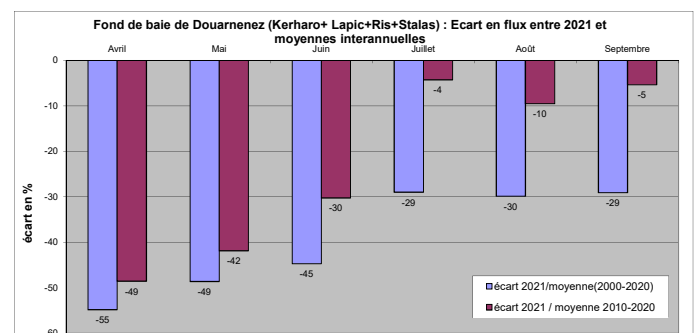
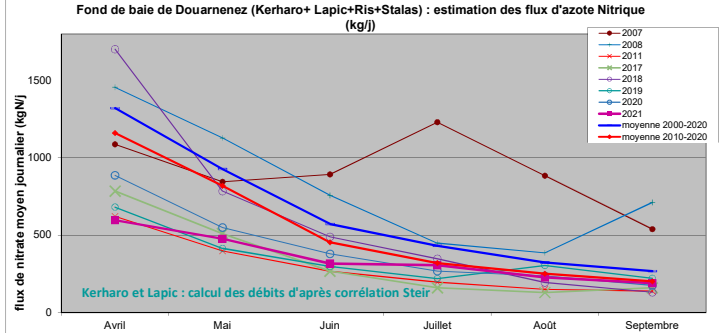
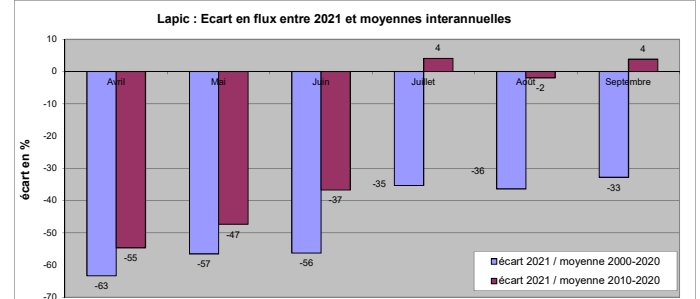
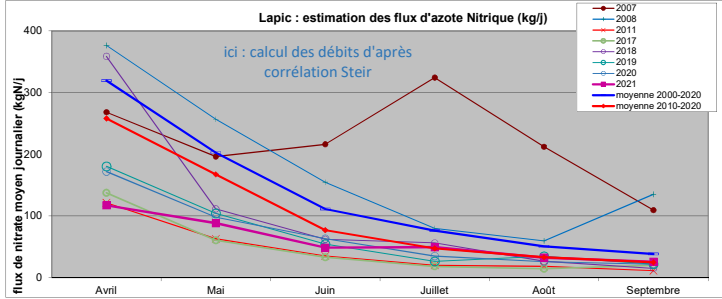
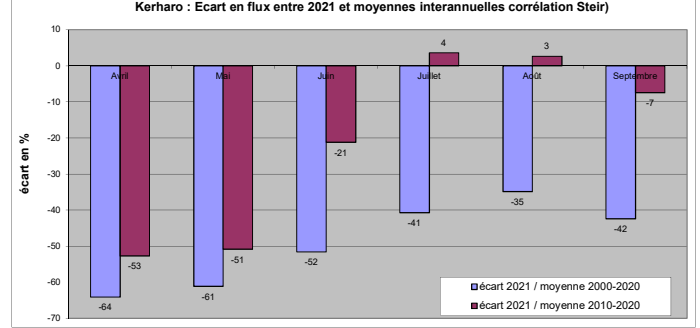
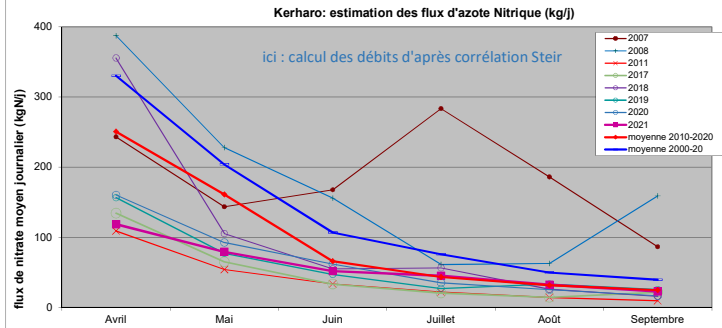
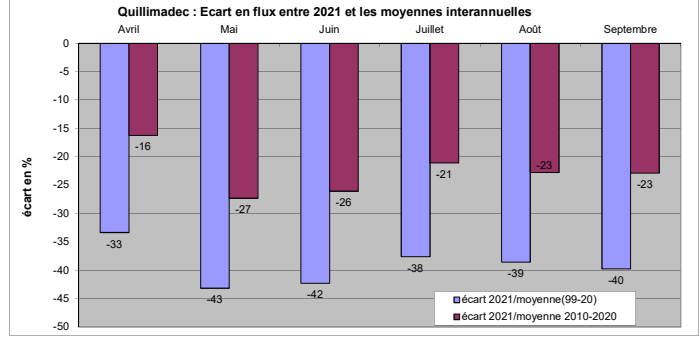
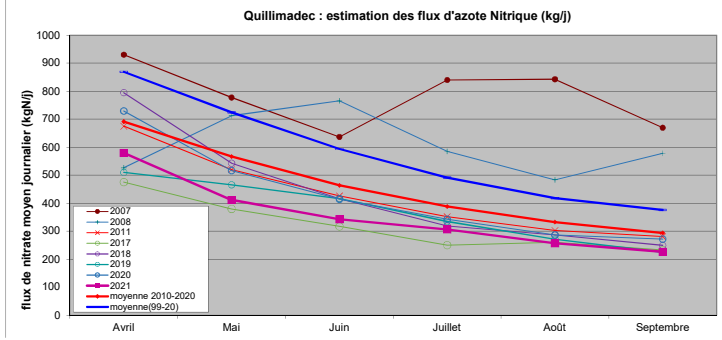
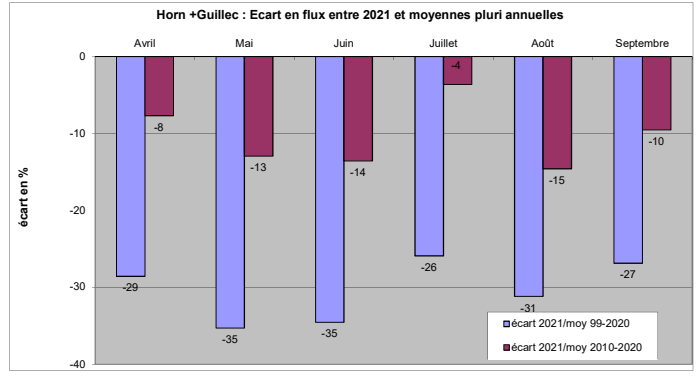
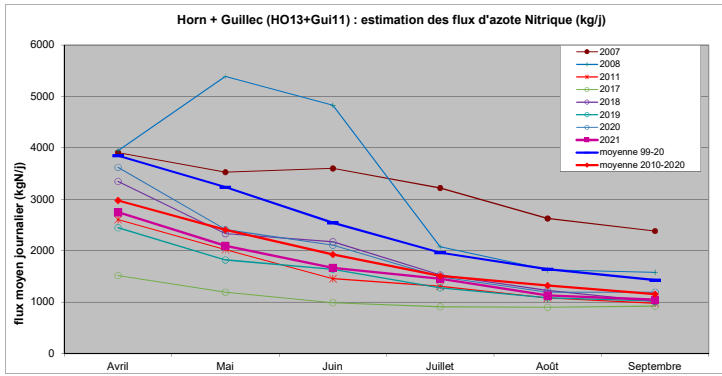
- 04 11 2021 : Cadre d'un mémoire de master en sciences environnementales, sur le sujet "Marées vertes en Bretagne: Un cadre exploratoire pour évaluer leur effet sur les services écosystémiques". Objectif est d'analyser le problème d'un point de vue à la fois social, écologique et économique.
- 05 11 2021 : travaux TIPE en première année de classe préparatoire en PCSI au lycée Chateaubriand : travaux pour la mise en évidence la présence d'algues dans un milieu aquatique (mesurer des concentrations) et l'étude des facteurs amplifiant la prolifération de celles-ci.
- 16 11 2021 : réunion OEB pour la rédaction du dossier algues vertes
- 17 11 2021 : entretien avec le « Financial Times » / enquête sur les AV, évolutions, cause, moyens de lutte...
- 09 12 2021 : Itw journaliste radio suisse Allemande « SRF » et radio allemande « SWR2 Wissen » sur les algues vertes, histoire, suivi, cause, plan de lutte.... Enquête sur la Bretagne (plusieurs jours sur place dont Ceva).
- 16 12 2021 : OEB : poursuite information AV pour rédaction article dossier.
- 04 01 2022 : « Ouest France » : itw sur situation bretonne et plus spécifiquement baie de la Forêt.
- 06 01 2022 : étudiant TIPE Brest Kerichen : sujet autour de la modélisation mathématique des algues vertes en fonction des paramètres du milieu ; données disponibles pour ces travaux, température, ensoleillement, taux de nitrates, ...
- 06 01 2022 : « Presse d'Armor » : « enquête » autour de jus visqueux et odorant qui ressemblent à du pétrole mais serait en réalité des jus de décomposition d'amas d'algues brunes en haut d'estran sur le Jaudy (Kerbors).
- 10 01 2022 : Journal « 20 minutes » de Rennes : « les algues n'ont-elles plus de saisonnalité » ? : éléments d'explication du record de fermeture de la plage de l'Hotellerie et présence d'algues en baie de Saint Brieuc cet hiver.
- 24 01 2022 : suite à conférence de presse de la Préfecture, itw « AFP » au sujet de la situation particulière hivernale.
- 25 01 2022 : « France Inter » : itw sur la situation hivernale, cause, actions possibles, ...
- 25 01 2022 : Etudiants en master 2 de la formation ingénieur Transition Environnementale et Durabilité à l'Ecole Supérieure d'Agricultures (ESA) d'Angers, dans le cadre de leur voyage de fin d'études autour des enjeux de la gestion de l'eau dans la baie de Saint-Brieuc, sujet sur la problématique des algues vertes. Rencontre au CEVA.
- 27 01 2022 : information de la réserve naturelle de la baie de Saint Brieuc sur les biomasses et surfaces concernées en baie pour modéliser le réseau trophique de la baie de Saint Brieuc en y incluant les algues vertes en tant que producteur primaire.
- 28 01 2022 : Ifremer : point sur les données de suivis, métriques relevés, métadonnées à inclure pour la description des suivis AV.
- 14 02 2022 : échanges avec journaliste de « Reporterre » au sujet de l'implantation potentielle d'une pisciculture de 10 000 T de saumon annuelles sur le Trieux (Plouizy) et ses impacts potentiels sur les algues vertes.
- 15 02 2022 : cadre oral du Bac « En prenant comme exemple les marées vertes en Bretagne, on va (pouvoir) se demander en quoi l'agriculture intensive impacte elle l'environnement? ». Information sur les risques, sur les teneurs et flux, évolutions, actions mises en palce...
- 17 02 2022 : Etudiants en master Développement Durable à l'Université Paris Dauphine : étude sur la prolifération des algues vertes. Recherches sur le sujet d'un point de vue scientifique et politique, entretiens avec des spécialistes et des organisations travaillant sur le sujet, points de vue sur l'évolution et la maturité du problème et sur l'efficacité des mesures prises.
- 23 02 2022 : IUT de Saint Malo, BUT GEA – Gestion des Entreprises et des Administrations : reportage journalistique sur Saint-Malo et ses alentours “ Les algues : des nuisibles pour les malouins ?”. Situation du secteur malouin, dangerosité, évolutions du phénomène, curatif, préventif, ...
- 01 03 2021 : OEB : reprise données provisoire du site internet, analyse et retours sur les modifications à y faire.
- 07 03 2022 : Institut Agro Rennes-Angers (« Agrocampus Ouest) à Rennes, dans le cadre du Module « milieux aquatiques » : intervention sur les Proliférations d'ulves en Bretagne, problématique, cause, suivis et évolutions mesurées, impacts et moyens de lutte.
- 10 03 2022 : « AFP » : point sur le ramassage innovant et stratégie de ramassage pour lutter contre les proliférations ou ses impacts.



Annexe 2

(flux 2021 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.
- An, Deyu; Yu, Dingfeng; Zheng, Xiangyang; Zhou, Yan; Meng, Ling; Xing, Qianguo (2021) Monitoring the Dissipation of the Floating Green Macroalgae Blooms in the Yellow Sea (2007–2020) on the Basis of Satellite Remote Sensing. In : *Remote Sensing*, vol. 13, n° 19, p. 3811. DOI: 10.3390/rs13193811.
- Areco, María M.; Salomone, Vanesa N.; Afonso, María dos Santos (2021) *Ulva lactuca*. A bioindicator for anthropogenic contamination and its environmental remediation capacity. In : *Marine environmental research*, vol. 171, p. 105468. DOI: 10.1016/j.marenvres.2021.105468.
- Becherucci, Maria Eugenia; Pereyra, Patricio; Narvarte, Maite; Fanjul, Eugenia; Iribarne, Oscar; Martinetto, Paulina (2021) Tidal action and macroalgal photosynthetic activity prevent coastal acidification in an eutrophic system within a semi-desert region. In : *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 256, p. 107374. DOI: 10.1016/j.ecss.2021.107374.
- Bews, Emily; Booher, Leslie; Polizzi, Torre; Long, Christopher; Kim, Ju-Hyoung; Edwards, Matthew S. (2021) Effects of salinity and nutrients on metabolism and growth of *Ulva lactuca*. Implications for bioremediation of coastal watersheds. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 166, p. 112199. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112199.
- Blanco, A.; Larrinaga, A. R.; Neto, J. M.; Troncoso, J.; Méndez, G.; Domínguez-Lapido, P. et al. (2021) Spotting intruders. Species distribution models for managing invasive intertidal macroalgae. In : *Journal of Environmental Management*, vol. 281, p. 111861. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111861.
- 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.
- Calumpiano, Frau; Logan, Madison; Pinney, Alex; Rushing, Paige; Wood, Gabriela (2021) Meltdown in Algae Town. Implications of Warming Oceans on San Juan Island *Ulva*.
- Cao, Hongye; Han, Ling; Liu, Zhiheng; Li, Liangzhi (2021) Monitoring and driving force analysis of spatial and temporal change of water area of Hongjiannao Lake from 1973 to 2019. In : *Ecological Informatics*, vol. 61, p. 101230. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2021.101230.
- Cavanaugh, Kyle C.; Bell, Tom; Costa, Maycira; Eddy, Norah E.; Gendall, Lianna; Gleason, Mary G. et al. (2021) A Review of the Opportunities and Challenges for Using Remote Sensing for Management of Surface-Canopy Forming Kelps. In : *Frontiers in Marine Science*, vol. 0, p. 1536. DOI: 10.3389/fmars.2021.753531.
- Chao, Yuan; Jie Xiao; Xuelei Zhang; Mingzhu Fu; Zongling Wang (2022) Two drifting paths of *Sargassum* bloom in the Yellow Sea and East China Sea during 2019–2020. In : *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 41, n° 1, p. 1–10. DOI: 10.1007/s13131-021-1894-z.



- Cai, Chuner; Kai Gu; Hui Zhao; Sophie Steinhagen; Peimin He; Thomas Wichard (2021) Screening and verification of extranuclear genetic markers in green tide algae from the Yellow Sea. In : PLOS ONE, vol. 16, n° 6, e0250968. DOI: 10.1371/journal.pone.0250968.
- Chung, Yuheon; Jeong, Seula; Lee, In-Kyoung; Yun, Bong-Sik; Lee, Jung Sup; Ro, Seungil; Park, Jong Kun (2021) Regulation of p53 Activity by (+)-Epiloliolide Isolated from *Ulva lactuca*. In : Marine drugs, vol. 19, n° 8, p. 450. DOI: 10.3390/md19080450.
- Coiai, Serena; Campanella, Beatrice; Paulert, Roberta; Cicogna, Francesca; Bramanti, Emilia; Lazzeri, Andrea et al. (2021) Rosmarinic Acid and Ulvan from Terrestrial and Marine Sources in Anti-Microbial Bionanosystems and Biomaterials. In : Applied Sciences, vol. 11, n° 19, p. 9249. DOI: 10.3390/app11199249.
- D'Archino, R.; Piazzì, L. (2021) Macroalgal assemblages as indicators of the ecological status of marine coastal systems. A review. In : Ecological Indicators, vol. 129, p. 107835. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107835.
- Dartois, Manon; Pante, Eric; Viricel, Amélia; Becquet, Vanessa; Sauriau, Pierre-Guy (2021) Molecular genetic diversity of seaweeds morphologically related to *Ulva rigida* at three sites along the French Atlantic coast. In : PeerJ, vol. 9, n° e11966, e11966. DOI: 10.7717/peerj.11966.
- Dave, Niyam; Varadavenkatesan, Thivaharan; Selvaraj, Raja; Vinayagam, Ramesh (2021) Modelling of fermentative bioethanol production from indigenous *Ulva prolifera* biomass by *Saccharomyces cerevisiae* NFCC1248 using an integrated ANN-GA approach. In : Science of The Total Environment, vol. 791, p. 148429. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148429.
- 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.
- El Boukhari, Mohammed El Mehdi; Barakate, Mustapha; Choumani, Nadia; Bouhia, Youness; Lyamlouli, Karim (2021) *Ulva lactuca* Extract and Fractions as Seed Priming Agents Mitigate Salinity Stress in Tomato Seedlings. In : Plants, vol. 10, n° 6, p. 1104. DOI: 10.3390/plants10061104.
- Eldrin De Los Reyes Arguelles; Arsenia B. Sapin (2021) Nutrient Composition, Antioxidant and Antibacterial Activities of *Ulva prolifera* O. F. Müller. In : Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology, vol. 16, n° 3, p. 119–129. DOI: 10.15578/squalen.550.
- Fort, Antoine; Linderhof, Charlene; Coca-Tagarro, Inés; Inaba, Masami; McHale, Marcus; Cascella, Kevin et al. (2021) A sequencing-free assay for foliose *Ulva* species identification, hybrid detection and bulk biomass characterisation. In : Algal Research, vol. 55, p. 102280. DOI: 10.1016/j.algal.2021.102280.
- Gong, Ning; Shao, Kuishuang; Shen, Kun; Gu, Yanbin; Liu, Yu'an; Ye, Jinqing et al. (2021) Chemical control of overwintering green algae to mitigate green tide in the Yellow Sea. In : Marine pollution bulletin, vol. 168, p. 112424. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112424.
- González, Alberto; Vidal, Constanza; Espinoza, Daniela; Moenne, Alejandra (2021) Anthracene induces oxidative stress and activation of antioxidant and detoxification enzymes in *Ulva lactuca* (Chlorophyta). In : Scientific Reports, vol. 11, n° 1, p. 1–13. DOI: 10.1038/s41598-021-87147-5.



Guo, Yuan; Le Gao; Li, Xiaofeng Distribution Characteristics of Green Algae in Yellow Sea Using an Deep Learning Automatic Detection Procedure: 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS.

Hao, Ya; Guan, Chen; Zhao, Xinyu; Qu, Tongfei; Tang, Xuexi; Wang, Ying (2021) Investigation of the decline of *Ulva prolifera* in the Subei Shoal and Qingdao based on physiological changes. In : Journal of Oceanology and Limnology, vol. 39, n° 3, p. 918–927. DOI: 10.1007/s00343-020-0140-4.

Harrald, Julie E.G.; Coe, Angela L.; Thomas, Rick M.; Hoggett, Murray (2021) Use of drones to analyse sedimentary successions exposed in the foreshore. In : Proceedings of the Geologists' Association, vol. 132, n° 3, p. 253–268. DOI: 10.1016/j.pgeola.2021.02.001.

Hiraoka, Masanori (2021) Massive *Ulva* Green Tides Caused by Inhibition of Biomass Allocation to Sporulation. In : Plants, vol. 10, n° 11, p. 2482. DOI: 10.3390/plants10112482.

Hu, Yiqiang; Yang, Chuanxun; Yang, Ji; Li, Yanyan; Jing, Wenlong; Shu, Sijing (2021) Review on unmanned aerial vehicle remote sensing and its application in coastal ecological environment monitoring. In : IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 821, n° 1, p. 12018. DOI: 10.1088/1755-1315/821/1/012018.

Hughey, Jeffery R.; Gabrielson, Paul W.; Maggs, Christine A.; Mineur, Frédéric (2022) Genomic analysis of the lectotype specimens of European *Ulva rigida* and *Ulva lacinulata* (Ulvaceae, Chlorophyta) reveals the ongoing misapplication of names. In : European Journal of Phycology, vol. 57, n° 2, p. 143–153. DOI: 10.1080/09670262.2021.1914862.

Isabelle Gendron-Lemieux; Lisandre Gilmore-Solomon; Éric Tamigneaux; Anne Tremblay-Gratton (2021) Essais de culture de *Porphyra* sp. dans une perspective d'épuration des effluents de viviers de homard.

James T. Melton; Juan M. Lopez-Bautista (2021) Diversity of the green macroalgal genus *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta) from the east and gulf coast of the United States based on molecular data. In : Journal of phycology, vol. 57, n° 2, p. 551–568. DOI: 10.1111/jpy.13120.

Jeffery R. Hughey; Paul W. Gabrielson; Christine A. Maggs; Frédéric Mineur; Kathy Ann Miller (2021) Taxonomic revisions based on genetic analysis of type specimens of *Ulva conglobata*, *U. laetevirens*, *U. pertusa* and *U. spathulata* (Ulvales, Chlorophyta). In : Phycological Research, vol. 69, n° 2, p. 148–153. DOI: 10.1111/pre.12450.

Jiang, Fei; Chi, Zhe; Ding, Yuanyuan; Quan, Meilin; Tian, Yu; Shi, Jie et al. (2021) Wound Dressing Hydrogel of *Enteromorpha prolifera* Polysaccharide–Polyacrylamide Composite. A Facile Transformation of Marine Blooming into Biomedical Material. In : ACS Applied Materials & Interfaces, vol. 13, n° 12, p. 14530–14542. DOI: 10.1021/acsami.0c21543.

José A. Zertuche-González; Jose M. Sandoval-Gil; Laura K. Rangel-Mendoza; Alberto I. Gálvez-Palazuelos; José M. Guzmán-Calderón; Charles Yarish (2021) Seasonal and interannual production of sea lettuce (*Ulva* sp.) in outdoor cultures based on commercial size ponds. In : Journal of the World Aquaculture Society, vol. 52, n° 5, p. 1047–1058. DOI: 10.1111/jwas.12773.

Kang, Eun Ju; Han, A-Reum; Kim, Ju-Hyoung; Kim, Il-Nam; Lee, Sukyeon; Min, Jun-Oh et al. (2021) Evaluating bloom potential of the green-tide forming alga *Ulva ohnoi* under ocean acidification and warming. In : Science of The Total Environment, vol. 769, p. 144443. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144443.



- Kang, Pil Joon; An, Jae Woo; Nam, Ki Wan (2022) *Ulva grossa* sp. nov. (Ulvales, Chlorophyta) from Korea based on molecular and morphological analyses : Research Square Platform LLC.
- Karki, Sita; Bermejo, Ricardo; Wilkes, Robert; Monagail, Michéal Mac; Daly, Eve; Healy, Mark et al. (2021) Mapping Spatial Distribution and Biomass of Intertidal *Ulva* Blooms Using Machine Learning and Earth Observation. In : *Frontiers in Marine Science*, vol. 0, p. 380. DOI: 10.3389/fmars.2021.633128.
- Keerthanan, S.; Gunawardane, Chaminda; Somasundaram, Thiruchenduran; Jayampathi, Tharuka; Jayasinghe, Chamila; Vithanage, Meththika (2021) Immobilization and retention of caffeine in soil amended with *Ulva reticulata* biochar. In : *Journal of Environmental Management*, vol. 281, p. 111852. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111852.
- Kostas, Emily T.; Adams, Jessica M.M.; Ruiz, Héctor A.; Durán-Jiménez, Gabriela; Lye, Gary J. (2021) Macroalgal biorefinery concepts for the circular bioeconomy. A review on biotechnological developments and future perspectives. In : *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 151, p. 111553. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111553.
- Lakshmi, D. Shanthana; Saxena, Mayank; Dass, Lawrence Arockiasamy (2021) Maiden exploration of ulvan, a sulfated green seaweed polysaccharide as morphology-controlled porogen. In : *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, vol. 4, p. 100096. DOI: 10.1016/j.crgsc.2021.100096.
- Lawton, Rebecca J.; Sutherland, Judy E.; Glasson, Christopher R.K.; Magnusson, Marie E. (2021) Selection of temperate *Ulva* species and cultivars for land-based cultivation and biomass applications. In : *Algal Research*, vol. 56, p. 102320. DOI: 10.1016/j.algal.2021.102320.
- Lebata-Ramos, Ma. Junemie Hazel L.; Solis, Ellen Flor D. (2021) Can *Ulva reticulata* replace *Gracilariopsis heteroclada* as natural food for the abalone *Haliotis asinina*? In : *Journal of Applied Phycology*, vol. 33, n° 3, p. 1869–1872. DOI: 10.1007/s10811-021-02407-1.
- Li, Bei; Liu, Xiaojing; Wang, Ao; Tan, Chang; Sun, Kang; Deng, Libo et al. Biochar with Inherited Negative Surface Charges Derived from *Enteromorpha Prolifera* as a Promising Cathode Material for Capacitive Deionization Technology.
- Li, Bing-Han; Liu, Chun-Ying; Deng, Xue; Wang, Ke-Ke; Han, Lu; Huang, Yu-Huan et al. (2021) Responses of the marine carbonate system to a green tide. A case study of an *Ulva prolifera* bloom in Qingdao coastal waters. In : *Harmful Algae*, vol. 110, p. 102133. DOI: 10.1016/j.hal.2021.102133.
- Li, Dongxue; Gao, Zhiqiang; Song, Debin (2021) Analysis of environmental factors affecting the large-scale long-term sequence of green tide outbreaks in the Yellow Sea. In : *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 260, p. 107504. DOI: 10.1016/j.ecss.2021.107504.
- Li, Dongxue; Gao, Zhiqiang; Xu, Fuxiang (2021) Research on the dissipation of green tide and its influencing factors in the Yellow Sea based on Google Earth Engine. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 172, p. 112801. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112801.
- Li, Jinghu; Wang, Lili; Xing, Qianguo (2021) Detection of Coastal Green Macroalgae based on SLIC, CNN and SVM: 2021 International Conference on Communications, Computing, Cybersecurity, and Informatics (CCCI): IEEE.
- Li, Sheng-Nan; Wang, Rupeng; Ho, Shih-Hsin (2021) Algae-mediated biosystems for metallic nanoparticle production. From synthetic mechanisms to aquatic environmental applications. In : *Journal of Hazardous Materials*, vol. 420, p. 126625. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126625.



- Liang, Jinchang; Liu, Jiwen; Zhan, Yuanchao; Zhou, Shun; Xue, Chun-Xu; Sun, Chuang et al. (2021) Succession of marine bacteria in response to *Ulva prolifera*-derived dissolved organic matter. In : *Environment International*, vol. 155, p. 106687. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106687.
- Lina, Feng; Xiaoyong, Shi; Yuehong, Chen; Hongjie, Tang; Lisha, Wang (2021) Effects of temperature on the nitrate reductase activity and growth of *Ulva prolifera*. In : *Journal of phycology*, vol. 57, n° 3, p. 955–966. DOI: 10.1111/jpy.13141.
- Liu, Jinlin; Xia, Jing; Zhuang, Minmin; Zhang, Jianheng; Yu, Kefeng; Zhao, Shuang et al. (2021) Controlling the source of green tides in the Yellow Sea. NaClO treatment of *Ulva* attached on *Pyropia* aquaculture rafts. In : *Aquaculture*, vol. 535, p. 736378. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.736378.
- Lønborg, Christian; Aris Thomasberger; Peter A. U. Stæhr; Anders Stockmarr; Sayantan Sengupta; Mikkel Lydholm Rasmussen et al. (2021) Submerged aquatic vegetation. Overview of monitoring techniques used for the identification and determination of spatial distribution in European coastal waters. In : *Integrated Environmental Assessment and Management*. DOI: 10.1002/ieam.4552.
- López-Contreras, Ana M.; Matthijs van der Geest; Bea Deetman; Sander van den Burg; Hanneke Brust; Truus de Vrije et al. (2021) Opportunities for valorisation of pelagic *Sargassum* in the Dutch Caribbean. Wageningen Food & Biobased Research. Wageningen (Wageningen Food & Biobased Research, 2137).
- Louis, Justine; Jeanneau, Laurent; Andrieux-Loyer, Françoise; Gruau, Gérard; Florian; Lebris, Nathalie et al. (2021) Are benthic nutrient fluxes from intertidal mudflats driven by surface sediment characteristics? In : *Comptes Rendus. Géoscience*, vol. 353, n° 1, p. 173–191. DOI: 10.5802/crgeos.57.
- M'sakni, Nour Houda; Alsufyani, Taghreed (2021) Removal of Cationic Organic Dye from Aqueous Solution by Chemical and Pyrolysis Activated *Ulva lactuca*. In : *Water*, vol. 13, n° 9, p. 1154. DOI: 10.3390/w13091154.
- Mannino, Anna Maria; Borfecchia, Flavio; Micheli, Carla (2021) Tracking Marine Alien Macroalgae in the Mediterranean Sea. The Contribution of Citizen Science and Remote Sensing. In : *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 9, n° 3, p. 288. DOI: 10.3390/jmse9030288.
- Martins, Margarida; Oliveira, Rui; Coutinho, João A.P.; Faustino, M. Amparo F.; Neves, M. Graça P.M.S.; Pinto, Diana C.G.A.; Ventura, Sónia P.M. (2021) Recovery of pigments from *Ulva rigida*. In : *Separation and Purification Technology*, vol. 255, p. 117723. DOI: 10.1016/j.seppur.2020.117723.
- Miao, Xiaoxiang; Xiao, Jie; Fan, Shiliang; Zang, Yu; Zhang, Xuelei; Wang, Zongling (2021) Assessing Herbivorous Impacts of *Aphoyale* sp. on the *Ulva prolifera* Green Tide in China. In : *Frontiers in Plant Science*, vol. 0, p. 2927. DOI: 10.3389/fpls.2021.795560.
- Minghelli, Audrey; Chevalier, Cristele; Descloitres, Jacques; Berline, Léo; Blanc, Philippe; Chami, Malik (2021) Synergy between Low Earth Orbit (LEO)—MODIS and Geostationary Earth Orbit (GEO)—GOES Sensors for *Sargassum* Monitoring in the Atlantic Ocean. In : *Remote Sensing*, vol. 13, n° 8, p. 1444. DOI: 10.3390/rs13081444.
- Moreira, Ana S. P.; da Costa, Elisabete; Melo, Tânia; Lopes, Diana; Pais, Adriana C. S.; Santos, Sónia A. O. et al. (2021) Polar Lipids of Commercial *Ulva* spp. of Different Origins. Profiling and Relevance for Seaweed Valorization. In : *Foods*, vol. 10, n° 5, p. 914. DOI: 10.3390/foods10050914.
- Obolski, Uri; Wichard, Thomas; Israel, Alvaro; Golberg, Alexander; Liberzon, Alexander (2021) Modeling the growth and sporulation dynamics of the macroalga *Ulva* in mixed-age populations in cultivation and the formation of green tides : Copernicus GmbH.



- Ofori, Roland O.; Rouleau, Mark D. (2021) Modeling the impacts of floating seaweeds on fisheries sustainability in Ghana. In : *Marine Policy*, vol. 127, p. 104427. DOI: 10.1016/j.marpol.2021.104427.
- Pakingking, Rolando, Jr.; Usero, Roselyn; Jesus-Ayson, Evelyn Grace de; Caipang, Christopher Marlowe; Logronio, Dan Joseph (2022) Phytochemical composition, antioxidant, and antibacterial activity of the Philippine marine green alga (*Ulva pertusa*). In : *International Aquatic Research*, vol. 14, n° 1, p. 51–62. DOI: 10.22034/IAR.2022.1946410.1217.
- Park, Soohyun; Jung, Soyi; Lee, Haemin; Kim, Joongheon; Kim, Jae-Hyun (2021) Large-Scale Water Quality Prediction Using Federated Sensing and Learning. A Case Study with Real-World Sensing Big-Data. In : *Sensors*, vol. 21, n° 4, p. 1462. DOI: 10.3390/s21041462.
- Peng, Tong; Liu, Jianan; Yu, Xueqing; Zhang, Fenfen; Du, Jinzhou (2022) Assessment of submarine groundwater discharge (SGD) and associated nutrient subsidies to Xiangshan Bay (China), an aquaculture area. In : *Journal of Hydrology*, vol. 610, p. 127795. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.127795.
- Prakash, R.; Srinivasamoorthy, K.; Gopinath, S.; Saravanan, K.; Vinnarasi, F. (2021) Approximation of submarine groundwater discharge and allied nutrient fluxes to the Bay of Bengal, India using nutrient mass balance. In : *Environmental Earth Sciences*, vol. 80, n° 9, p. 1–22. DOI: 10.1007/s12665-021-09669-5.
- Qi, Lin; Hu, Chuanmin (2021) To what extent can *Ulva* and *Sargassum* be detected and separated in satellite imagery? In : *Harmful Algae*, vol. 103, p. 102001. DOI: 10.1016/j.hal.2021.102001.
- Qikun, Xing; Guiqi, Bi; Min, Cao; Arnaud, Belcour; Méziane, Aite; Zhaolan, Mo; Yunxiang, Mao (2021) Comparative Transcriptome Analysis Provides Insights into Response of *Ulva compressa* to Fluctuating Salinity Conditions. In : *Journal of phycology*, vol. 57, n° 4, p. 1295–1308. DOI: 10.1111/jpy.13167.
- Robertson, Ben P.; Savage, Candida (2021) Thresholds in catchment nitrogen load for shifts from seagrass to nuisance macroalgae in shallow intertidal estuaries. In : *Limnology and Oceanography*, vol. 66, n° 4, p. 1353–1366. DOI: 10.1002/lno.11689.
- Román, Alejandro; Tovar-Sánchez, Antonio; Olivé, Irene; Navarro, Gabriel (2021) Using a UAV-Mounted Multispectral Camera for the Monitoring of Marine Macrophytes. In : *Frontiers in Marine Science*, vol. 8. DOI: 10.3389/fmars.2021.722698.
- Ruijia, Zhou; Jingjing, Sha; Ruobing, Wen; Juan, Li; Yulong, Pan; Miao, Wei et al. (2021) Present situation and prospect of green tide monitoring technology. In : *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 769, n° 3, p. 32043. DOI: 10.1088/1755-1315/769/3/032043.
- Salama M. El-Darier; Abdel-Fattah K. Metwally; Amani W. Nasser; Hala M. Taha (2021) Biointerference relationship between the macroalga *Ulva lactuca* and two green microalgae. In : (None). En ligne : <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/7367669>.
- Sato, Yoichi; Kinoshita, Yutaro; Mogamiya, Miho; Inomata, Eri; Hoshino, Masakazu; Hiraoka, Masanori (2021) Different Growth and Sporulation Responses to Temperature Gradient among Obligate Apomictic Strains of *Ulva prolifera*. In : *Plants*, vol. 10, n° 11, p. 2256. DOI: 10.3390/plants10112256.
- Schreyers, Louise; van Emmerik, Tim; Biermann, Lauren; Le Lay, Yves-François (2021) Spotting Green Tides over Brittany from Space. Three Decades of Monitoring with Landsat Imagery. In : *Remote Sensing*, vol. 13, n° 8, p. 1408. DOI: 10.3390/rs13081408.
- Shahar, Ben; Guttman, Lior (2021) Integrated biofilters with *Ulva* and periphyton to improve nitrogen removal from mariculture effluent. In : *Aquaculture*, vol. 532, p. 736011. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.736011.



- Shobier, A. H.; El Ashry, E. S. H. (2021) Pharmacological Applications of the Green Seaweed *Ulva lactuca*. In : Russian Journal of Marine Biology, vol. 47, n° 6, p. 425–439. DOI: 10.1134/S1063074021060122.
- Streicher, Michael; Reiss, Henning; Reiss, Katrin (2021) Impact of aquaculture and agriculture nutrient sources on macroalgae in a bioassay study. In : Marine pollution bulletin, vol. 173, p. 113025. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.113025.
- Sun, Deyong; Chen, Ying; Wang, Shengqiang; Zhang, Hailong; Qiu, Zhongfeng; Mao, Zhihua; He, Yijun (2021) Using Landsat 8 OLI data to differentiate Sargassum and *Ulva prolifera* blooms in the South Yellow Sea. In : International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 98, p. 102302. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102302.
- Tait, Leigh W.; Orchard, Shane; Schiel, David R. (2021) Missing the Forest and the Trees. Utility, Limits and Caveats for Drone Imaging of Coastal Marine Ecosystems. In : Remote Sensing, vol. 13, n° 16, p. 3136. DOI: 10.3390/rs13163136.
- Tang, Tao; Effiong, Kokoette; Hu, Jing; Li, Chao; Xiao, Xi (2021) Chemical Prevention and Control of the Green Tide and Fouling Organism *Ulva*. Key Chemicals, Mechanisms, and Applications. In : Frontiers in Marine Science, vol. 8, p. 87. DOI: 10.3389/fmars.2021.618950.
- Tao, Juhong; Pei, Yongyan; Zhu, Jianyi; Lu, Qinqin; Jiang, Hongxia; Zhang, Tao et al. (2021) Research on Growth Characteristics of Green-Tide-Forming Green Algae under Stress Conditions. In : Open Journal of Marine Science, vol. 11, n° 4, p. 157–168. DOI: 10.4236/ojms.2021.114010.
- Torres, Raquel; Mata, Leonardo; Santos, Rui; Alexandre, Ana (2021) Nitrogen uptake kinetics of an enteric methane inhibitor, the red seaweed *Asparagopsis armata*. In : Journal of Applied Phycology, vol. 33, n° 6, p. 4001–4009. DOI: 10.1007/s10811-021-02604-y.
- Trikka, Fotini; Israel, Pauline; Koukaras, Konstantinos; Argiriou, Anagnostis (2021) Biochemical characterization of eight Greek algae as candidate species for local seaweed cultivation. In : Botanica Marina, vol. 64, n° 4, p. 313–326. En ligne : <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/bot-2021-0006/html>.
- Wang, Bin; Wu, Lei; Zhao, Ning; Liu, Tianran; Hirose, Naoki (2021) Summer Wind Effects on Coastal Upwelling in the Southwestern Yellow Sea. In : Journal of Marine Science and Engineering, vol. 9, n° 9, p. 1021. DOI: 10.3390/jmse9091021.
- Wang, Changyou; Chen, Chen; Su, Rongguo; Luo, Zhuhua; Mao, Longjiang; Zhang, Yuanzhi (2021) Mechanism for the marked increase of *Ulva prolifera* in the south Yellow Sea. Role of light intensity, nitrogen, phosphorus, and co-limitations. In : Marine Ecology Progress Series, vol. 671, p. 97–110. DOI: 10.3354/meps13784.
- Wang, Mengqiu; Hu, Chuanmin (2021) Satellite remote sensing of pelagic Sargassum macroalgae. The power of high resolution and deep learning. In : Remote Sensing of Environment, vol. 264, p. 112631. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112631.
- Wang, Xinhua; Xing, Qianguo; An, Deyu; Meng, Ling; Zheng, Xiangyang; Jiang, Bo; Liu, Hailong (2021) Effects of Spatial Resolution on the Satellite Observation of Floating Macroalgae Blooms. In : Water, vol. 13, n° 13, p. 1761. DOI: 10.3390/w13131761.
- Wang, Yitao; Xu, Dong; Ma, Jian; Zhang, Xiaowen; Fan, Xiao; Zhang, Yan et al. (2021) Elevated CO₂ accelerated the bloom of three *Ulva* species after one life cycle culture. In : Journal of Applied Phycology, vol. 33, n° 6, p. 3963–3973. DOI: 10.1007/s10811-021-02562-5.



Weinberger, Florian; Steinhagen, Sophie; Bonthond, Guido; Barco, Andrea; Karez, Rolf (2021) Detection of *Ulva* spp. and related species with better resolution. A tufa metabarcoding approach for Ulvophyceae (12th International Phycological Congress).

Wong, Wei Wen; Greening, Chris; Shelley, Guy; Lappan, Rachael; Leung, Pok Man; Kessler, Adam et al. (2021) Effects of drift algae accumulation and nitrate loading on nitrogen cycling in a eutrophic coastal sediment. In : *The Science of the total environment*, vol. 790, p. 147749. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147749.

Xing, Ronglian; Hu, Shujun; Wang, Lei; Shi, Kai; Chen, Lihong (2021) Evaluation of the potential of the green tide macroalgae *Chaetomorpha valida* as a food source for *Apostichopus japonicus*. In : *Aquaculture Nutrition*, vol. 27, n° 6, p. 1912–1920. DOI: 10.1111/anu.13328.

Yang, Juanjuan; Yin, Yi; Yu, Dachun; He, Lihong; Shen, Songdong (2021) Activation of MAPK signaling in response to nitrogen deficiency in *Ulva prolifera* (Chlorophyta). In : *Algal Research*, vol. 53, p. 102153. DOI: 10.1016/j.algal.2020.102153.

Yang, X.; Lin, K.; Tan, L.; Wang, J. (2021) Utilization and release of biogenic elements by macroalgae *Ulva prolifera*. A mesocosm experiment off the coast of Qingdao, China. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 170. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112612.

Ying, Hu; Ruifu, Wang; Junhui, Zhu (2021) Biomass Calculation and Prediction Based on Green Tide Spatial Distribution and Living Environment: 2021 International Conference on Big Data Engineering and Education (BDEE): IEEE.

Yu, Haifei; Wang, Changying; Li, Jinhua; Sui, Yi (2021) Automatic Extraction of Green Tide From GF-3 SAR Images Based on Feature Selection and Deep Learning. In : *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 14, p. 10598–10613. DOI: 10.1109/jstars.2021.3118374.

Zhang, Hailong; Yuan, Yibo; Xu, Yongjiu; Shen, Xiaojing; Sun, Deyong; Qiu, Zhongfeng et al. (2021) Remote sensing method for detecting green tide using HJ-CCD top-of-atmosphere reflectance. In : *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 102, p. 102371. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102371.

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.

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.

Zhao, Xiaohui; Liu, Pengfei; Wen, Qinlin; Qiao, Qiao; Zhang, Xinyu; Pan, Jiayu et al. (2022) Localization of ITS and 5S rDNA on the chromosomes of *Ulva prolifera* using fluorescence in situ hybridization. In : *Phycologia*, vol. 61, n° 1, p. 1–6. DOI: 10.1080/00318884.2021.1984074.

Zhao, Xinyu; Zheng, Wei; Qu, Tongfei; Zhong, Yi; Xu, Jinhui; Jiang, Yongshun et al. (2021) Dual roles of reactive oxygen species in intertidal macroalgae *Ulva prolifera* under ultraviolet-B radiation. In : *Environmental and Experimental Botany*, vol. 189, p. 104534. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2021.104534.

Zhao, Xinyu; Zhong, Yi; Zhang, Huanxin; Qu, Tongfei; Hou, Chengzong; Guan, Chen et al. (2021) Comparison of environmental responding strategies between *Ulva prolifera* and *Sargassum horneri*. An in-



- situ study during the co-occurrence of green tides and golden tides in the Yellow Sea, China in 2017. In : *Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 39, n° 6, p. 2252–2266. DOI: 10.1007/s00343-021-0397-2.
- ZHAO, Z. F.; LIU, Z. Y.; QIN, S.; WANG, X. H.; SONG, W. L.; LIU, K. et al. (2021) Impacts of low pH and low salinity induced by acid rain on the photosynthetic activity of green tidal alga *Ulva prolifera*. In : *Photosynthetica*, vol. 59, n° 4, p. 468–477. DOI: 10.32615/ps.2021.036.
- Zhong, Zhihai; Wang, Yong; Qin, Song; Song, Wanlin; Zhuang, Longchuan; Zhao, Zhifang et al. (2021) High temperature promotes the inhibition of Zn²⁺ to physiological performance of green tide-forming seaweed *Ulva prolifera*. In : *Acta Ecologica Sinica*, vol. 41, n° 5, p. 424–431. DOI: 10.1016/j.chnaes.2020.10.009.
- Zhou, Fucang; Ge, Jianzhong; Liu, Dongyan; Ding, Pingxing; Chen, Changsheng; Wei, Xiaodao (2021) The Lagrangian-based Floating Macroalgal Growth and Drift Model (FMGDM v1.0). Application to the Yellow Sea green tide. In : *Geoscientific Model Development*, vol. 14, n° 10, p. 6049–6070. DOI: 10.5194/gmd-14-6049-2021.
- 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.
- Zuo, Siqi; Li, Feiyu; Gu, Xiu; Wei, Zhengpeng; Qiao, Leke; Du, Chunying et al. (2021) Effects of low molecular weight polysaccharides from *Ulva prolifera* on the tolerance of *Triticum aestivum* to osmotic stress. In : *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 183, p. 12–22. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.04.121.