

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 2022-2023

octobre 2023

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 .....	18
2.5.1. Contexte et objectif.....	18
2.5.2. Matériel et méthodes.....	18
2.5.3. Résultats .....	18
3. Conclusion – perspectives .....	36
ANNEXES.....	38



## TABLE DES ILLUSTRATIONS

### Figures

- Figure 1 (a) et (b) : flux moyens mensuels à l'exutoire des bassins versants PLAV concernés par les proliférations (moyenne des flux mensuels des 7 cours d'eau alimentant les sites du programme « Prolittoral 2002-2006 » + flux des trois cours d'eau du fond de baie de Saint Briec : Gouessant, Urne et Gouet + flux de l'Horn + Guillec). Seules certaines années ont été sélectionnées sur ces graphiques, ainsi que les moyennes pluriannuelles 2002-2021 et 2010-2021 (flux des années les plus récentes dont le niveau moyen est moins élevé). La figure du haut (a) présente les flux sur l'ensemble de l'année tandis que la figure du bas (b) présente les flux sur la période la plus sensible. .... 5
- Figure 2 : Ecart des flux mensuels, annuels et saisonniers 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 42 % inférieur à la moyenne 2010-2021 (valeur d'octobre conforme à la moyenne et valeur de février, la plus écartée avec -60 % de flux) ; sur la période sensible « mai-août » le flux est inférieur à la moyenne 2010-2021 de 46 % ; les mois de mai à août étant tous compris entre -45 et -48%. Ces « valeurs régionales » sont cependant très variables selon les territoires : défaut de flux très élevé sur l'est des Côtes d'Armor et la baie de Douarnenez (de -72 à -55 %) et plus proche des moyennes sur les bassins granitiques (autour de 30 à 40 % de défaut de flux). .... 6
- Figure 3 : Evaluation des flux d'azote inorganique de chaque BV estimés sur l'année en moyenne 2002-2022 (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 2002-2022 de 3 830 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 2002-2022 sur « mai-août » est estimé à 650 T. .... 6
- Figure 4 : Flux annuel spécifique moyen (2002-2022) 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 69 kg pour l'Horn/Guillec contre 18 sur le BV de la Fresnaye (19 sur la baie de Saint Briec et sur le Yar). L'importance de ces flux est en partie conditionnée par l'importance des lames drainantes des BV. .... 7
- Figure 5 : Pluviosité sur les stations Météo France suivies sur l'année hydrologique 2022 (30 septembre 2021-1<sup>er</sup> octobre 2022) : gauche écarts mensuels aux normale de chaque station, droite cumul annuel et écart sur l'année à la normale 1981-2010. .... 8
- Figure 6 : Ecart, par BV, entre flux d'azote inorganique dissous sur mai-août 2022, sur octobre 2021-septembre 2022 et (figure du bas) détail sur chacun des mois de mars à septembre. Les différences observées s'expliquent principalement par les différences locales de pluviosité et les contextes géologiques locaux. 10
- Figure 7 : Données MétéoFrance sur les différentes stations : en haut, pluviosité mesurée par MétéoFrance sur la station de Saint Briec, en bas ensoleillement (pas de donnée disponible sur Ploumanac'h). .... 11
- 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. .... 12
- 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 Briec, en 2016 à 2019 sur la baie de Douarnenez et depuis 2006 sur l'est du département des Côtes d'Armor) ne sont pas comptabilisées ici. .... 12



Figure 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 mars 2022 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff) ; (d) pourcentage d'écart en nombre d'heures d'ensoleillement sur les stations MétéoFrance littorales suivies pour ce bulletin..... 15

Figure 13 : ensoleillement sur l'hiver 2022-2023 au 1<sup>er</sup> avril sur les stations Météo-France..... 16

Figure 14 : données de température de l'eau entre 2000 et mars 2023 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..... 17

Figure 1. Comparaison des différentes méthodes de segmentation dont le nouveau modèle SRSe-Net pour la détection d'algues vertes dérivantes à partir d'images MODIS « basse-résolution »..... 19

Figure 2. Cartographie des biomasses algales échouées sur la plage ou immergées dans le proche côtier (rideau) à partir d'images satellites haute résolution (Super Dove – PlanetScope). .... 19

Figure 3. Signatures spectrales de différentes espèces de macroalgues et leur séparabilité selon l'algorithme SAM (Spectral Angle Mapper) aux différentes longueurs d'ondes spécifiques à chaque groupe d'algues. 20

Figure 4. Détection des algues vertes masquées par des nuages sur des images MODIS selon une méthodologie de reconstruction des patches d'algues sous différents cas de figure..... 20

Figure 5. Détection des algues vertes dérivantes à partir de l'imagerie thermique du satellite ZY01-02<sup>E</sup>. .... 21

Figure 6. Aire de répartition potentielle des blooms de macroalgues vertes selon les paramètres biologiques et physiques du milieu..... 22

Figure 7. Accumulation de microplastiques dans les thalles de Sargasses ou d'algues vertes issus de blooms de macroalgues. .... 23

Figure 8. Exemple d'une succession de communautés microbienne au cours d'une saison de bloom entre des échantillons de mai et de juillet (extrait de Yuan, Yiming et al. 2022). .... 25

Figure 9. Localisation des zones à risque pour l'établissement des marées vertes (tirée de Wang et al. 2022).. 28

Figure 10. Mécanismes d'action des micropropagules dans l'établissement de la marée verte dans le sud de la mer Jaune (Cao et al. 2023). a) en hiver, les micropropagules sont enfouies dans le sédiment et survivent aux conditions hostiles du milieu ; b) au printemps, les micropropagules atteignent les eaux de surface, les conditions environnementales étant favorables à leur développement ; c) les micropropagules s'attachent ensuite aux radeaux de culture de *N. yezoensis* et commencent à germer et croître. Les plantules deviennent aussi une source de micropropagules supplémentaire au cours de la saison. .... 30



## Tables

Tableau 1. Synthèse des onze études ayant réalisé l'analyse moléculaire d'Ulva spp. entre mars 2022 et mars 2023.....	34
---	----

## 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 2022 sur une période de 12 mois (15 mars 2022 au 15 mars 2023).

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 2022 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 dans le cadre du Cimav.*
- **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 2021 revus à la baisse, autour d'actions dans la lignée des années précédente.

Pour l'année 2022, la proposition faite de rester sur les grandes lignes des années antérieures, mais en renforçant les moyens humains sur ce programme notamment pour répondre aux demandes d'amélioration du ramassage, de meilleure connaissance du phénomène sur vasière et d'appui au lancement du « PLAV3 » sur les baies sableuses. Comme cela avait été le cas les 5 années précédentes, le programme 2022 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 2022, en plus de ces actions, le CEVA a réalisé une évaluation des stocks de reconduction d'ulves pour consolider la perception de la précocité attendue des proliférations. L'Annexe 1 reprend les principales interventions « formelles » du CEVA. Sur la période du 15 mars 2022 au 15 mars 2023, ces interventions répertoriées représentent un volume encore important en 2022 avec environ 135 occurrences.

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

Comme tous les ans, les demandes ont été nombreuses de la part des médias. Cela a notamment été causé par la forte précocité des proliférations sur l'Est des Côtes d'Armor (principalement baie de Saint Brieuc et Fresnaye) et aussi sur les vasières du Sud Bretagne (Golfe du Morbihan et Ria d'Etel). Par ailleurs, les demandes dans le cadre de travaux d'étudiants ont également été nombreuses. En 2022, cette action d' «

information » regroupe plus de 35 interventions dont une vingtaine (seules les demandes les plus lourdes ont été listées) 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 Brieuc en 2019, 2021 puis 2022 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 Brieuc et de la Fresnaye alors que les autres baies étaient retardées (92 % de la surface mesurée en avril+mai 2022 ; proche de l'anomalie 2021) a engendré encore beaucoup de questionnements sur cette « anomalie » qui est bien liée à des particularités de ces sites (flux 2021 élevés et reports importants de stocks d'ulves sur l'hiver 2021-2022). Tout comme la précocité, encore très forte en 2022, des proliférations sur les vasières du Golfe et de la Ria d'Etel 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.

En 2022, le CEVA a réitéré sur la mise à jour des analyses des surfaces algales en lien avec les paramètres environnementaux (report de stocks, caractéristiques de l'hiver, flux N) afin d'aboutir (en juin 2023) sur l'acceptation d'une publication portant sur la chronique octobre 2002-octobre 2020 (« *Multi-year renewal of green tides: 18 years of algal mat monitoring (2003–2020) on French coastline (Brittany region)* » dans une revue à comité de lecture, « Marine Pollution Bulletin »). Le fait de disposer d'une publication internationale sur ces données constitue une aide pour répondre sur ce volet « connaissance du phénomène ». Cette valorisation des données à l'échelle internationale permet aussi de donner une visibilité aux actions portées par les gestionnaires de l'eau en France et sera également promoteur du partage de connaissance sur le phénomène à plus grande échelle.

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 (pré digitalisation « rapide » sur les baies principales ou comparaison pour les sites en « suivi renforcé » du niveau de surface avec les 10 années antérieures) afin d'estimer, avant la phase de digitalisation complète 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 2022 le 08/02/2023 consolidé le 22/02/2023 suite au survol partiel des côtes le 21/02/2023).



Outre l'édition de bulletins d'information sur l'évolution de la prolifération, l'action d'appui aux collectivités a représenté 45 interventions formelles en 2022. 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 2022 ont concerné les SAGEs en particulier des baies concernées par le PLAV (Sage Baie de Saint Briec, baie de Lannion, Haut Léon, Bas Léon, Douarnenez, Sud Cornouaille), mais aussi et tout particulièrement en 2022, des secteurs de vasières (Sage Rance, Sage Golfe, Ria d'Étel, Sage Haut Léon (Morlaix Penzé), Ouest Cornouaille / Pont Labbé, rade de Brest) 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, sur Pont Labbé, sur le Golfe du Morbihan : relation flux, lumière, température de l'eau/surfaces couvertes pour le Golfe et la Ria d'Étel, flux en rivière de Morlaix/Penzé). Enfin les collectivités, départementales, régionale, l'Agence de L'eau et l'Etat ont également été demandeurs d'informations sur les proliférations et évolution mesurées en lien avec les paramètres du milieu.

Cette action a représenté en 2022, 45 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 2022 environ 45 réunions ou interventions. La plus grosse partie des interventions est en lien avec le dossier « ramassage innovant » avec de nombreuses structures ou personnes qui ont contacté le CEVA pour proposer des idées ou projet mais aussi pour le soutien de la MIRE sur l'analyse des candidatures en réponse à l'appel d'offre puis la participation aux essais et aux réunions de pilotage des campagnes. En marge de ce dossier certaines réunions ont également concerné la gestion des zones vaseuses des baies (curage ?) et les aspects sanitaires (mesures H<sub>2</sub>S, Air Breizh).

Afin de pouvoir mieux répondre sur les aspects « ramassage innovant », mais aussi programmes d'actions sur les SAGE « 10 A2 », le CEVA a recruté une cheffe de projet, en la personne de Justine Louis, qui a pu plus spécifiquement se mobiliser et répondre sur ces dossiers. Néanmoins, on peut noter que les moyens humains limités pour répondre aux demandes (surtout sur les « autres aspects », appui aux collectivités, informations sur les AV) 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). Les données reprises ci-dessous ont fait l'objet de la rédaction de bulletins communiqués au cours de l'année 2022/2023 aux acteurs du PLAV.

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).

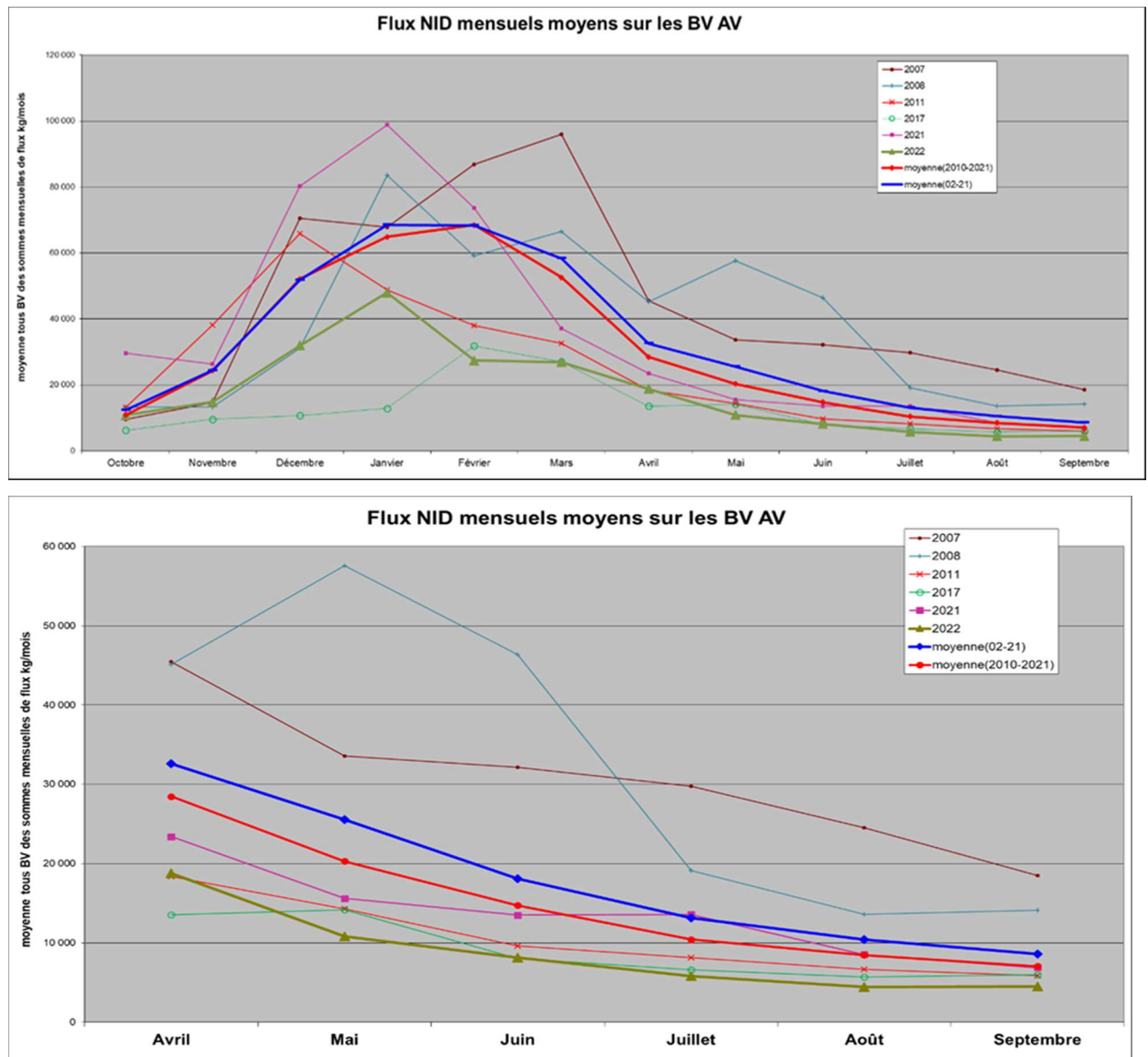


Figure 1 (a) et (b) : flux moyens mensuels à l'exutoire des bassins versants PLAV concernés par les proliférations (moyenne des flux mensuels des 7 cours d'eau alimentant les sites du programme « Prolittoral 2002-2006 » + flux des trois cours d'eau du fond de baie de Saint Brieuc : Gouessant, Urne et Gouet + flux de l'Horn + Guillec). Seules certaines années ont été sélectionnées sur ces graphiques, ainsi que les moyennes pluriannuelles 2002-2021 et 2010-2021 (flux des années les plus récentes dont le niveau moyen est moins élevé). La figure du haut (a) présente les flux sur l'ensemble de l'année tandis que la figure du bas (b) présente les flux sur la période la plus sensible.

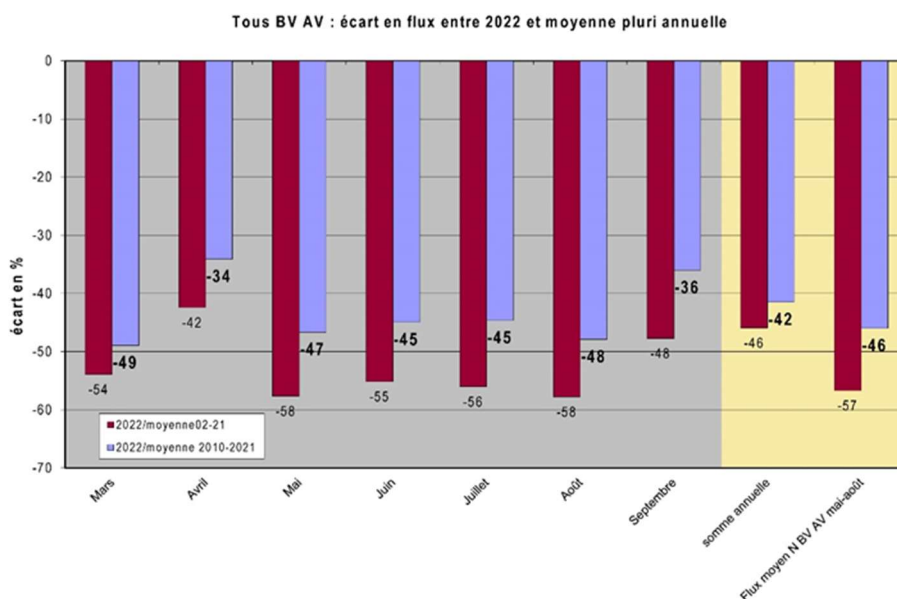


Figure 2 : Ecarts des flux mensuels, annuels et saisonniers aux exutoires des BV AV par rapport aux années antérieures (moyenne des sommes mensuelles pour tous les BV). Sur l'ensemble de la période annuelle, le flux est de 42 % inférieur à la moyenne 2010-2021 (valeur d'octobre conforme à la moyenne et valeur de février, la plus écartée avec -60 % de flux) ; sur la période sensible « mai-août » le flux est inférieur à la moyenne 2010-2021 de 46 % ; les mois de mai à août étant tous compris entre -45 et -48%. Ces « valeurs régionales » sont cependant très variables selon les territoires : défaut de flux très élevé sur l'est des Côtes d'Armor et la baie de Douarnenez (de -72 à -55 %) et plus proche des moyennes sur les bassins granitiques (autour de 30 à 40 % de défaut de flux).

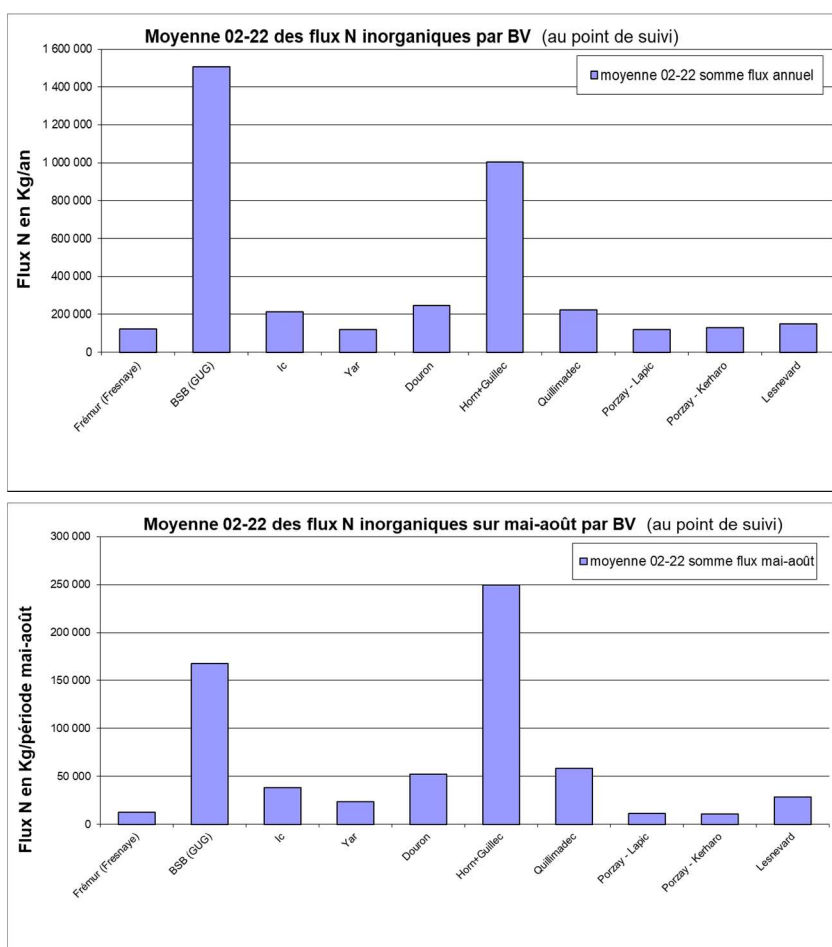


Figure 3 : Evaluation des flux d'azote inorganique de chaque BV estimés sur l'année en moyenne 2002-2022 (Figure 3a) pour la partie du BV suivie (point exutoire du cours d'eau ; ce qui peut être assez différent du flux total du BV dans le cas où plusieurs cours d'eau drainent les BV mais qui permet de visualiser la part de chaque cours d'eau au flux total régional moyen sur 2002-2022 de 3 830 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 2002-2022 sur « mai-août » est estimé à 650 T.

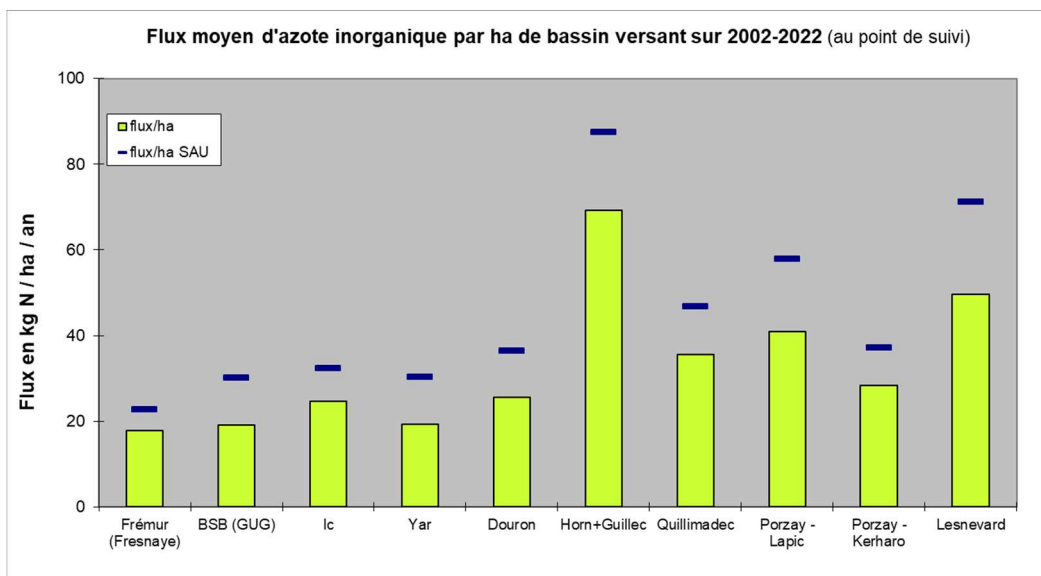


Figure 4 : Flux annuel spécifique moyen (2002-2022) d'azote inorganique de chaque BV (pour la partie du BV suivie ; point exutoire du cours d'eau, idem aux Figures 3 a et b). On perçoit des flux spécifiques (par ha de BV ou par ha de SAU) particulièrement importants sur l'Horn+Guillec et sur les cours d'eau de l'ouest Bretagne de manière plus générale. On estime en particulier un flux par ha total de BV de 69 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 2022** (Figure 2) est fortement inférieur au flux moyen interannuel (-42 % par rapport à 2010-2021 et -46 % par rapport à 2002-2021). Chaque mois de l'année hydrologique est déficitaire, excepté octobre qui est quasiment conforme au niveau 2010-2021 (-0.1 % mais -13 % par rapport à 2002-2021). Les mois dont les déficits sont les moins importants (outre octobre) sont les mois de janvier (-26 %) et avril (-34 %). **Le point le plus marquant est que tous les mois de la période « sensibles » présentent des déficits importants de -45 % à -50 % sur mai à août et -36 % pour septembre.** Cela conduit à un **défaut de flux sur la période mai-août de -46 % par rapport à 2010-2021** (et -57 % sur 2002-2021). Les apports **sur mai-août sont les plus bas depuis le début de nos suivis** (15 % inférieurs à ceux de 2017 et 25 % inférieurs à ceux de 2011).

Cette situation de faibles flux est à relier à des débits sur 2022 inférieurs aux moyennes et à des concentrations elles-mêmes en forte baisse sur les 15 -20 dernières années. **Les débits plus bas que la moyenne sont eux même à relier aux précipitations nettement plus basses que les normales**, en particulier sur novembre 2021 (sauf Saint Brieuc en léger excédent), puis chaque mois de décembre (modérément) à mai (très fort déficit). **En avril le déficit pluviométrique est d'environ 40 % ; en mai, il s'accroît encore** (de -60 à -89 % selon les stations). Le mois de juin fait exception avec des excédents autour de 35 à 40 % (Brest, Ploumanac'h, Saint Brieuc) voire 50 % (Quimper) alors que la station de Dinard ne voit que 12 % d'excédent. Ces pluies excédentaires sur juin, dans un contexte de **sécheresse des sols très importante et du fait de la répartition des pluies régulière** sur l'ensemble du mois n'ont pas généré de reprises d'écoulement trop importantes mais plutôt un ralentissement de la chute des débits intervenue au cours des mois d'avril et mai. Le mois **de juillet est extrêmement sec** avec de 1mm (Dinard) à 9.2 mm au maximum (Brest) **ce qui représente des déficits pluviométriques de 82 % (Ploumanac'h) à 98 % (Dinard)**. **En août le déficit**, quoique moins marqué, est **encore important mais plus variable suivant les stations** (-17 % à Dinard et -65 % à Ploumanac'h). Septembre est plus conforme aux moyennes (sauf Dinard qui présente un excédent de près de 60 %). Les différents mois de cette saison hydrologique 2022 atypique (Figure 5) conduisent à un

**cumul annuel qui est fortement déficitaire, à un niveau variable suivant les stations** : autour de 20 % (Dinard, Saint Briec et Ploumanac'h), de 30 % (Brest et Lorient) et même 35 % (Quimper).

La Figure 7 montre, pour chaque année depuis 2016, des situations de fort excès pluviométrique en juin (ou mai) sur l'est des Côtes d'Armor (exemple de la station de Saint Briec/Trémuson). **C'est moins le cas de l'année 2022** (excès pluviométrique de « seulement » 40 % en juin 2022) et la pluviosité, ayant été assez régulièrement répartie sur le mois, semble avoir engendré des remontées limitées des débits (la majeure partie des précipitations de juin est stockée dans les sols à quoi s'ajoute l'impact du barrage de Ploufragan qui a stocké, sur le Gouet, ces apports de juin, en grande partie). Les 7 dernières années et tout particulièrement l'année 2021 auront donc présenté **des profils « très défavorables » avec des pluies très soutenues en juin**, période durant laquelle les ulves sont **potentiellement limitées par l'azote et donc sensibles** à ces apports excédentaires (refertilisation importante à une période clé). D'après les spécialistes de météo France, cette situation relève du « hasard » et n'est pas une tendance liée au changement global (pas décrite par les modèles locaux du changement climatique). Pour 2022, les débits et flux étant déjà tellement bas en mai et la pluie n'ayant pas entraîné de remontée significative des débits, ces phénomènes orageux n'ont visiblement pas joué un rôle trop négatif sur la prolifération estivale.

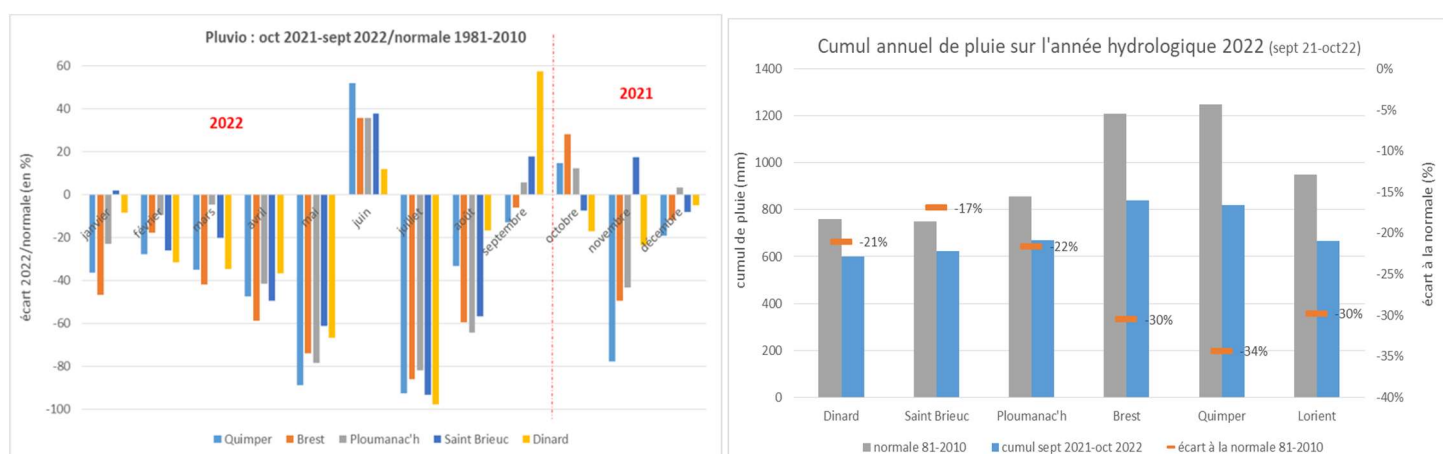


Figure 5 : Pluviosité sur les stations Météo France suivies sur l'année hydrologique 2022 (30 septembre 2021-1<sup>er</sup> octobre 2022) : gauche écarts mensuels aux normales de chaque station, droite cumul annuel et écart sur l'année à la normale 1981-2010

Les différences de pluviosité locale et les caractéristiques des bassins versants engendrent cependant des contrastes dans les niveaux des flux de l'année. Avec notamment les bassins versant granitiques sur lesquels les **étiages sont plus soutenus et les défauts de flux moins prononcés en période estivale** que sur les bassins versants schisteux. La Figure 6 montre des situations sur la saison mai-août qui sont assez proches de ce qui est retrouvé en détail mensuel (figure du bas) à l'exception du mois d'avril dont les écarts à la moyenne sont plus faibles (-18% pour le Yar et -40% pour les cours d'eau de la baie de Saint Briec). Le mois de septembre montre aussi la particularité d'écarts de flux moins importants et surtout pour les BV de la baie de Saint Briec (-20 % en septembre contre -44 % en août). On voit aussi que les pluies plus importantes de juin ont limité l'accroissement du défaut de flux en juin et juillet mais **sans que ces apports pluviométriques soient en mesure de réellement compenser les déficits antérieurs** (probablement la grande majorité des apports est restée dans les sols, les pluies ayant été régulières sur l'ensemble du mois et les sols très secs suite aux mois d'avril et mai secs).

**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 variables selon les secteurs** mais, malgré ces variabilités, on note pour 2022 des **situations sur toutes les baies de flux bas par rapport aux années « moyennes » sur l'ensemble de la saison de prolifération**. Les écarts de flux les plus importants étant rencontrés sur les bassins versants « schisteux » (Est des Côtes d'Armor et centre baie de Douarnenez).

Enfin, l'évolution des teneurs moyennes en nutriments ces dernières années jouent également, à la baisse, sur le flux pour les dernières années : **les concentrations moyennes annuelles ont été divisées par deux sur certains cours d'eau en une quinzaine d'années**. Le cas particulier de la baie de Saint Briec **dont les flux domestiques** étaient importants, notamment en période sensible de prolifération, doit être rappelé : la STEP depuis 2006 rejette beaucoup moins d'azote (ammonium), ce qui implique des apports d'azote inorganique dissous très inférieurs, les années sèches, aux années antérieures à 2006 (environ 550 kg N/jour en moins sur la moyenne 2000-2004 sur mai-septembre et 700 kg/jour sur l'année). Le contexte de bassins versants schisteux de l'Est de la baie engendre quant à lui des débits très faibles les étés secs comme 2022 et cet effet sur les débits est renforcé par des concentrations en années sèches qui sont très nettement en baisse (probablement accentué par l'eutrophisation des eaux plus ou moins stagnantes : les 3 valeurs mesurées en fin août et en septembre 2022 sont en dessous d'1 mg/l de  $\text{NO}_3^-$  mais les valeurs en  $\text{NH}_4^+$  entre 2 et 6 mg/l attestent d'une situation « anormale »).

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 2002-2021 avec une baisse, sur tous les cours d'eau, marquée des concentrations des dernières années par rapport à cette moyenne).

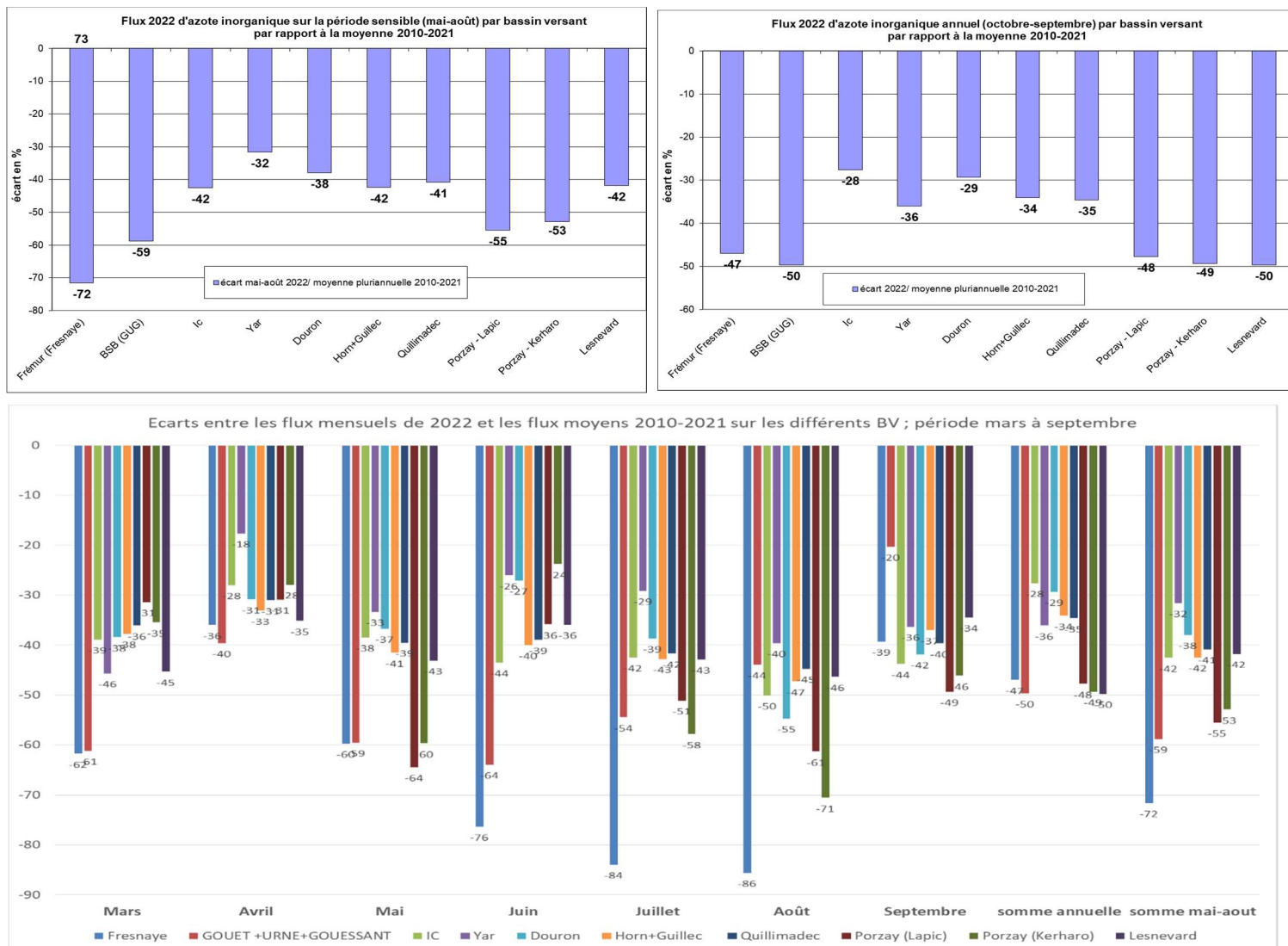


Figure 6 : Ecart, par BV, entre flux d'azote inorganique dissous sur mai-août 2022, sur octobre 2021-septembre 2022 et (figure du bas) détail sur chacun des mois de mars à septembre. Les différences observées s'expliquent principalement par les différences locales de pluviosité et les contextes géologiques locaux.

La Figure 5 présente la pluviosité sur 2021/2022 par rapport aux normales (1981-2010) et les cumuls sur l'année hydrologique. Les niveaux de pluviosité jouent directement sur les écoulements et les flux présentés plus haut. La Figure 7 permet de percevoir un **ensoleillement inférieur à la normale, de décembre à février, puis nettement excédentaire sur la sortie de l'hiver (mars à mai)**. Cet ensoleillement excédentaire est particulièrement marqué en mars sur l'ouest Bretagne (en mars : + 33 % d'heures de soleil sur St Brieuc et Dinard ; + 45 % sur Brest et Quimper et sur avril de 25 à 30 %) et en mai sur l'Est Bretagne (Dinard +41 % et Saint-Brieuc : +27 %). Ce paramètre est donc favorable au redémarrage printanier (paramètre habituellement limitant à cette saison) sur les sites qui ont gardé des stocks d'ulves. On relève aussi un ensoleillement fortement excédentaire en « plein été » (+ 65 % en juillet sur Brest et + 40 % en août) mais ce paramètre n'étant pas limitant à cette saison ne doit pas impacter fortement la prolifération.

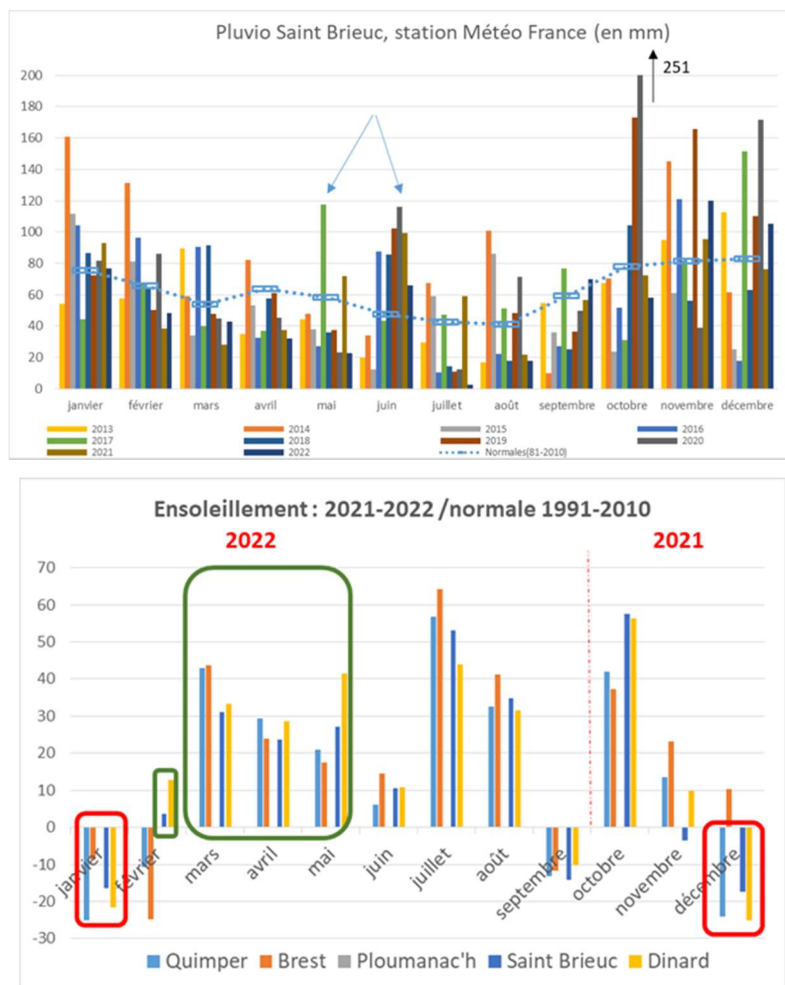


Figure 7 : Données MétéoFrance sur les différentes stations : en haut, pluviosité mesurée par MétéoFrance sur la station de Saint Brieuc, en bas ensoleillement (pas de donnée disponible sur Ploumanac'h).

Le flux est également lié **aux concentrations** (nitrates et ammonium), même si ces dernières évoluent, à court terme, dans des intervalles beaucoup plus étroits (en particulier pour les nitrates) que les débits des cours d'eau (exception faite des mesures sur le Gouet en août et septembre 2022 extrêmement basses impliquant un flux de nitrate très inférieur au niveau moyen). En 2021 (année hydrologique), les concentrations en nitrates étaient en légère **baisse dans la plupart des cours d'eau ; c'est encore le cas en 2022** (Figure 8). Le calcul de 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) conduit à une diminution entre 2021 et 2022 de 4.6 % (28.4 mg/l en 2022 pour 29.8 mg/l en 2021 et 30.9 mg/l en 2020) ce qui **positionne l'année 2022 au niveau le plus bas mesuré**. Cette diminution de la « moyenne brute » est en grande partie liée à la **diminution très importante de la moyenne annuelle du Guessant** (-34 % de concentration et une valeur annuelle de 17 mg/l contre 25 en 2021 ce qui est lié surtout aux deux mois d'étiage sévère « août et septembre » pour lesquels les concentrations sont proches de 0 : 3 valeurs sur 4 estimées à 0.5 ou 1 mg/l sur août et septembre mais valeurs en ammonium et NKJ très élevées sur les mêmes prélèvements). Les autres cours d'eau de la baie de Saint Brieuc (Urne et Gouet) voient aussi leurs concentrations diminuer tout comme le Frémur et l'lc. Alors que les cours d'eau granitiques connaissent de légères augmentations (classiques lors que les étiages sont sévères). 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 Brieuc,



le fort abattement depuis 2006 des fournitures en ammonium (NH<sub>4</sub>) 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).

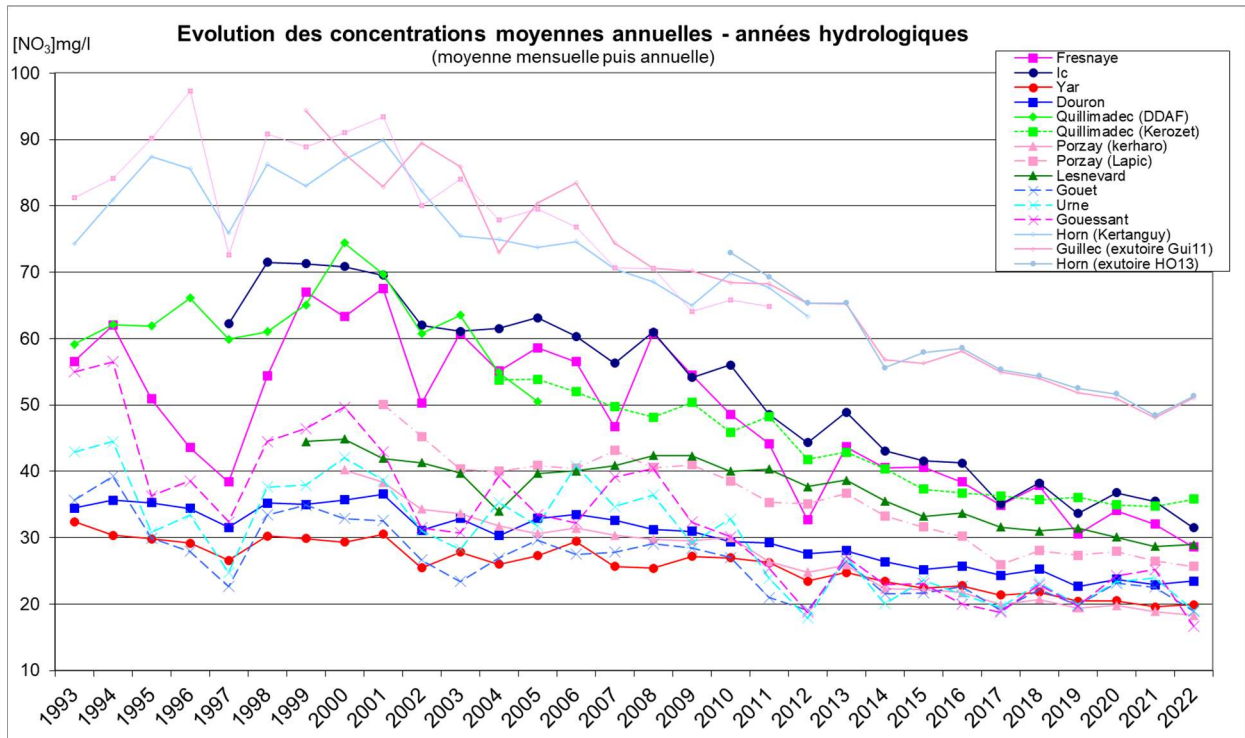


Figure 8 : Evolutions des concentrations en nitrates sur les cours d'eau suivis (moyennes mensuelles puis annuelles afin d'avoir le même poids pour chaque mois de l'année), sur tous les cours d'eau intégrés au suivi dans le cadre de ce rapport

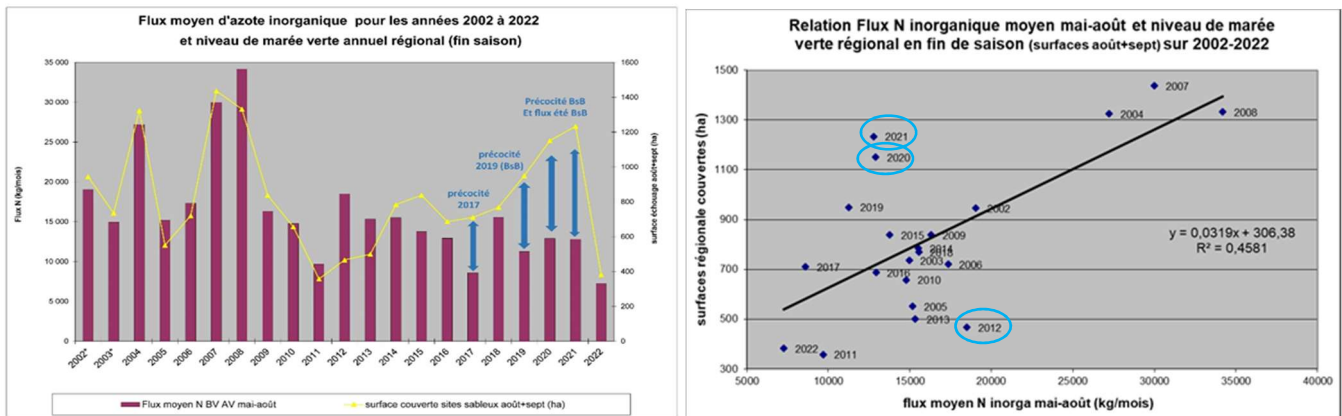
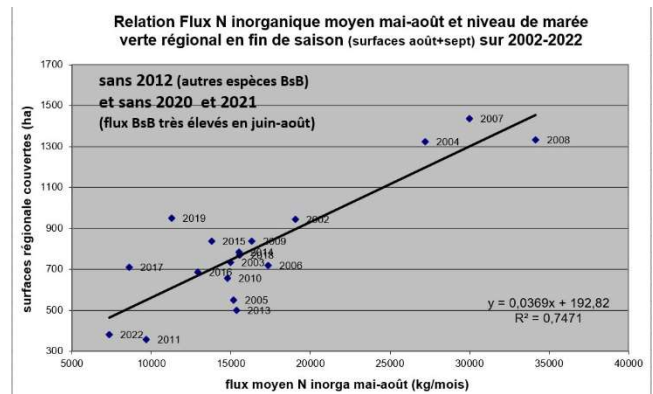


Figure 9 : Flux d'azote sur la période sensible (moyenne des flux de mai à août sur 8 baies du PLAV) et niveau de surfaces couvertes par les algues vertes en fin de saison (surface en août + septembre sur les plages bretonnes). Les surfaces couvertes par des algues brunes (ou rouges) filamenteuses notamment en 2011, 2012, 2013, 2015 et 2017 en baie de Saint Briec, en 2016 à 2019 sur la baie de Douarnenez et depuis 2006 sur l'est du département des Côtes d'Armor ne sont pas comptabilisées ici.



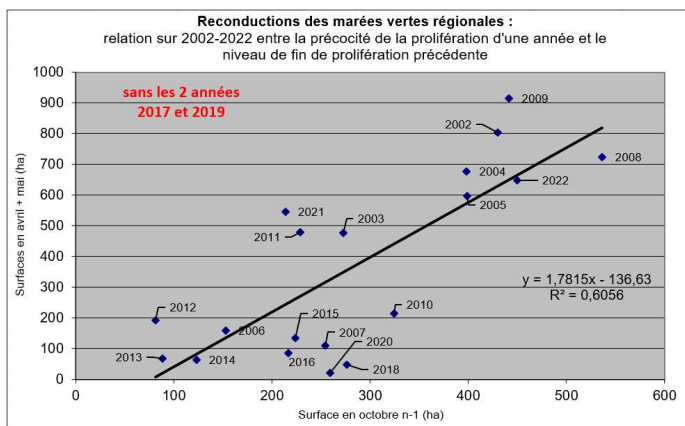
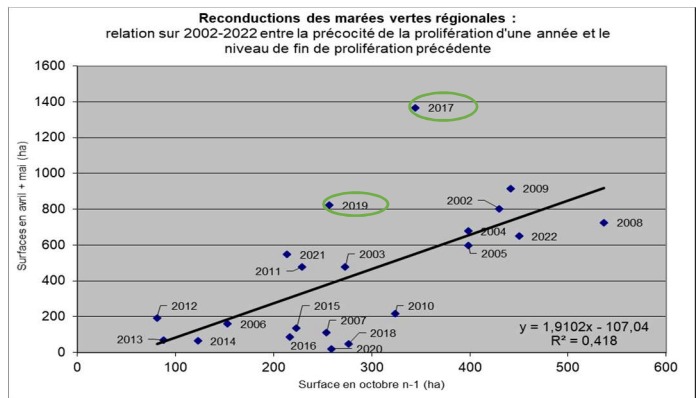
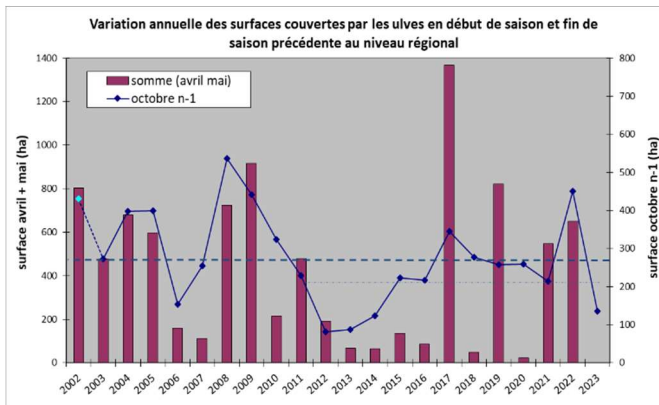


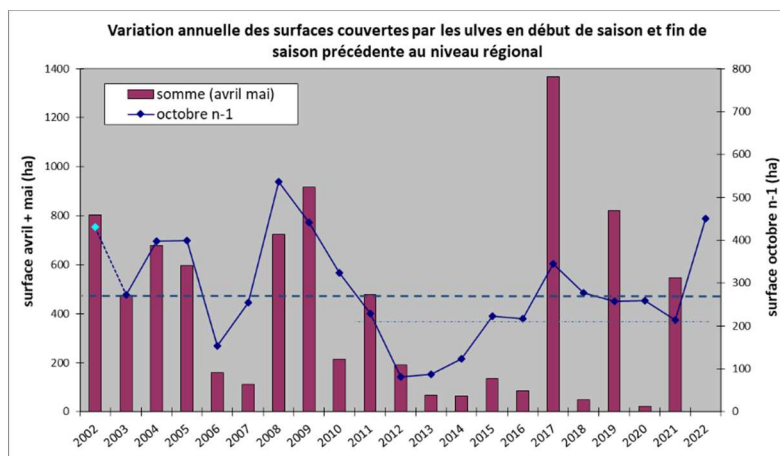
Figure 10 : Surfaces couvertes par les ulves en début de saison (avril+mai) et lien avec le niveau de couverture de la fin de l'année n-1. Les niveaux plus faibles qu'attendus en 2006, 2007, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016, 2018 et 2020 s'expliquent par : des températures de l'eau plus froides en hiver/printemps 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 2022**, les éléments ci-dessous étaient rassemblés en avril 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 sableux en octobre. En revanche, peu de surface en octobre sur les baies de la Forêt, Douarnenez, Saint Michel en Grève. Donc sur ce paramètre la **configuration 2022 est favorable à un démarrage précoce sur les baies de Saint Brieuc et Fresnaye**.



*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 hivernale de l'eau** (estimée sur la bouée 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,
- **La dispersion hivernales sur novembre à mars** (analyse « régionale sur les données Windguru GFSwaves au nord de Lannion) indique un hiver proche du précédent, légèrement plus dispersif et assez proche du niveau moyen interannuel : **+ 5 % de jours de + de 2.5 m** que la moyenne 2003-2021, mais **-10 % pour les jours de +3.5 m**. L'hiver est donc « moyennement dispersif » à « plutôt calme ». Cela pourrait donc expliquer 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).
- 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'heures de soleil sur St Brieuc et Dinard ; + 45 % sur Brest et Quimper). **Ce paramètre est donc favorable au redémarrage printanier** (paramètre habituellement limitant à cette saison) **sur les sites qui ont gardé des stocks d'ulves**.

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 favorable à une prolifération précoce** (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). **Sur ces deux secteurs**, les plus vastes et les plus abrités, les stocks importants associé à un hiver « plutôt peu dispersif » **risquent donc d'entraîner un redémarrage précoce des proliférations quand les baies plus exposées, plus facilement destockables et qui présentaient pas ou peu d'ulves devraient connaître un démarrage tardif**.

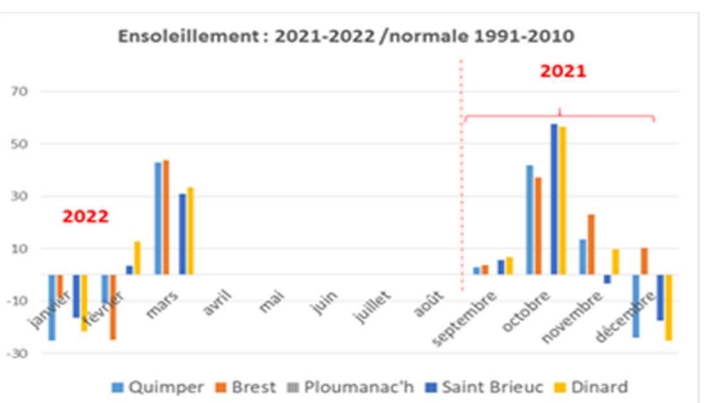
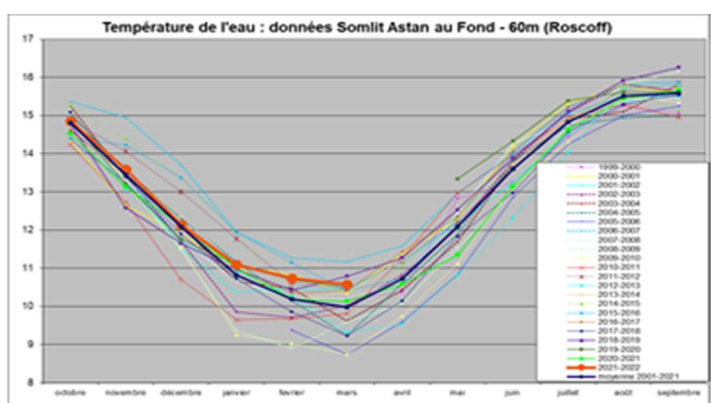
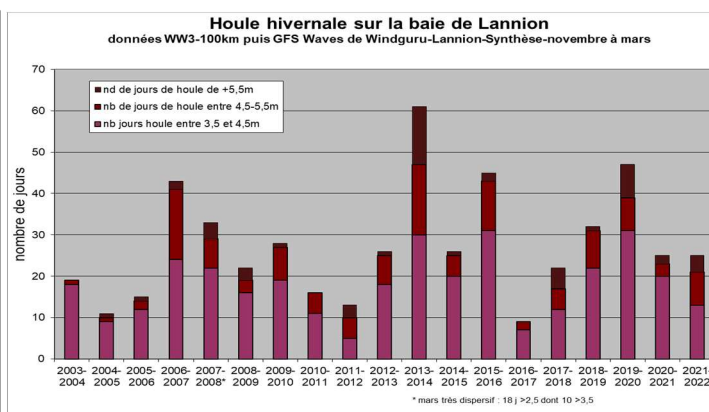
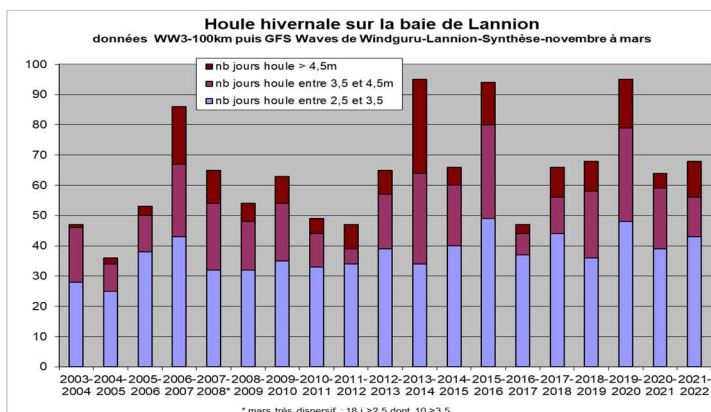


Figure 12 (a), (b), (c) et (d) : caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle NWW3 /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et mars 2022 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff) ; (d) pourcentage d'écart en nombre d'heures d'ensoleillement sur les stations MétéoFrance littorales suivies pour ce rapport.

✓ **Concernant la précocité de démarrage 2023**, les éléments rassemblés étaient (20 avril 2023):

- Les stocks présents en **automne 2022** sont **bas**. En octobre les surfaces mesurées sur l'ensemble des sites étaient de 50 % inférieures au niveau de 2002-2021 et 3 fois inférieures au niveau mesuré en octobre 2021. Ces stocks sont pour 63 % le fait de la situation en **baie de Saint Brieuc** (reprise de croissance en début octobre qui s'est poursuivie en novembre entraînant des échouages et ramassages jusqu'en fin décembre). Les autres sites « sujets à reconduction » étaient très peu chargés en octobre 2022. Donc sur ce paramètre **la configuration régionale 2022 est favorable à un démarrage tardif** avec un « risque » **plus élevé sur la baie de Saint Brieuc** (report fortement dépendant des caractéristiques hivernales sur ce site).
- La **dispersion hivernales sur novembre à mars** (analyse « régionale sur les données Windguru GFSwaves au nord de Lannion) indique un hiver dispersif par rapport au niveau moyen interannuel : **+ 5 % de jours de + de 2.5 m que la moyenne 2003-2022**, mais **+28.5 % pour les jours de +3.5 m** et même **+ 70 % pour les jours au-dessus de 4.5 m**. L'hiver est **donc dispersif sur l'ensemble de la période** (avec notamment de fortes dispersions du 16 décembre au 18 janvier, un mois de février très calme puis des conditions fortement dispersives à partir du 9 mars). L'hiver 2022-2023 apparaît nettement plus dispersif que les hivers antérieurs depuis l'hiver 2016-2017, exception faite de l'hiver 2019-2020.
- La **température hivernale de l'eau** (estimée sur la bouée Astan, réseau Somlit à 60 m de fond) est **restée supérieure aux moyennes pluriannuelles** (+ 0.5 à +0.2 °C de janvier à mars), donc ne peut impliquer de retard de démarrage sur le printemps.

- Les mois de **novembre et février** présentent des **excédents marqués d'ensoleillement** alors que **mars est particulièrement sombre**. Sur le total de l'hiver (nov-mars) les **niveaux d'ensoleillement sont proches de la moyenne mais plutôt excédentaires** (autour de + 6 % sur Dinard et Saint Briec et – 7 % sur Brest). Ce paramètre semble donc assez « neutre » ou plutôt négatif du fait d'un déficit d'ensoleillement sur la fin de la période (mars).

**Au total, l'ensemble de paramètres conduisent à attendre une prolifération retardée, surtout du fait des stocks d'automne qui étaient faibles et d'un hiver particulièrement dispersif.**

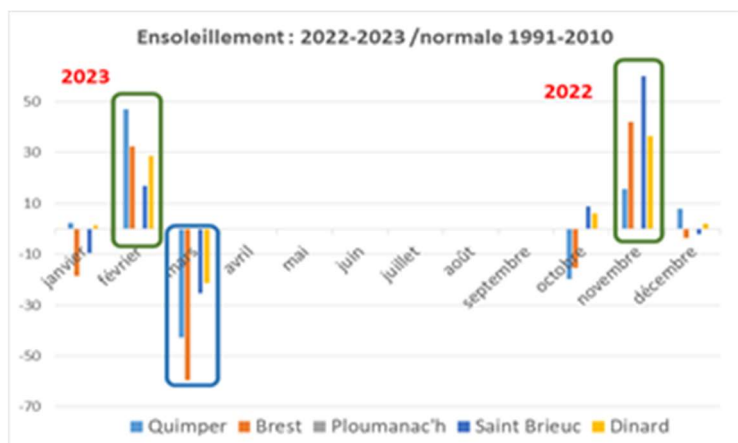


Figure 13 : ensoleillement sur l'hiver 2022-2023 au 1<sup>er</sup> avril sur les stations Météo-France

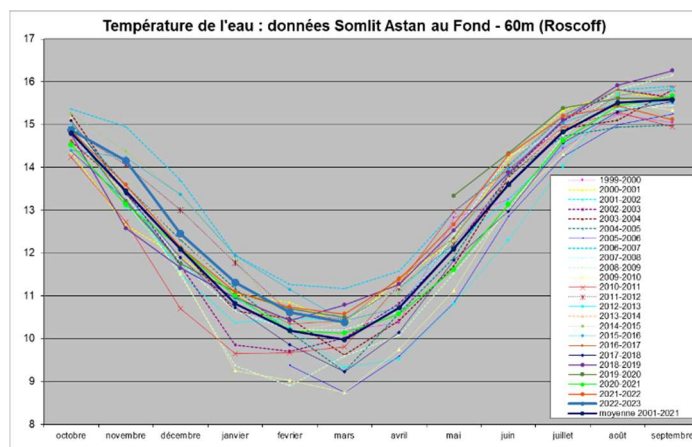


Figure 14 : données de température de l'eau entre 2000 et mars 2023 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff)

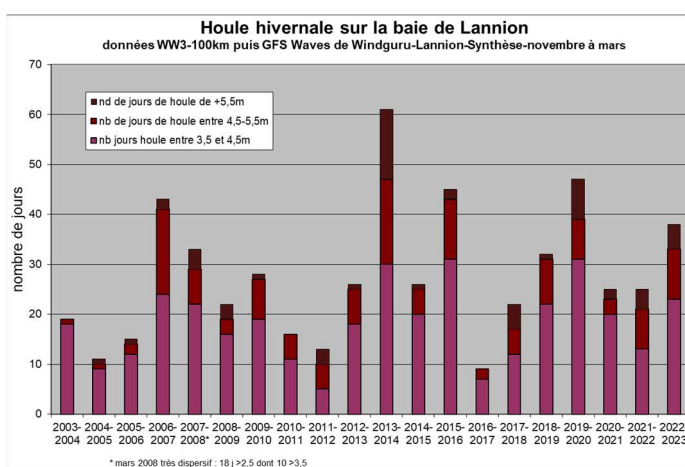
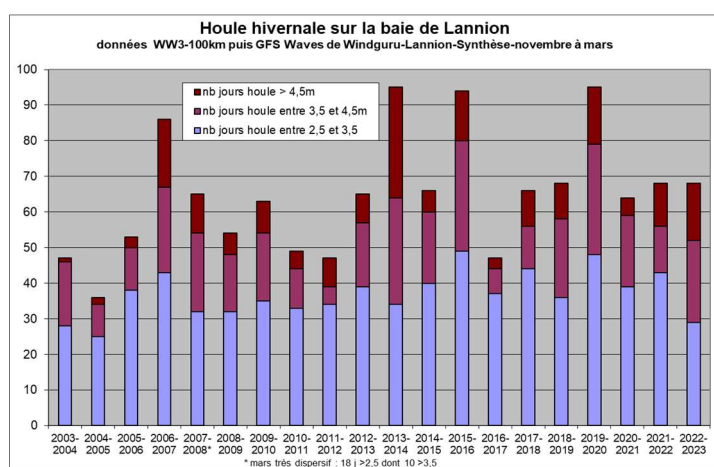


Figure 15 (a) et (b) : (a) houle du modèle NWW3 à 100 km /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes données mais seuillées au dessus de 3.5 m.

- ✓ **Premiers éléments de perception de la reconduction 2022 – 2023** (point réalisé le 22 février 2023, suite au survol du 21 février, réalisé dans le cadre de ce programme Cimav P1)

**Un survol de fin d'hiver a pu être programmé le 21 février** dans de bonnes conditions pour observer la présence éventuelle d'algues (temps calme depuis plus d'un mois, plafond nuageux suffisant et coefficient de 112 découvrant largement les estrans). Ce « petit vol d'avant saison » a permis de survoler :

**Baie de la Forêt** : manifestation pas ou peu d'ulves (difficile sans contrôle de terrain de trancher, mais les petits dépôts sur Kerleven, Cap Coz et Cabellou semblent être du goémonet un bloom de phytoplancton face à l'exutoire du Saint Laurent),

**Baie de Douarnenez** : aucun dépôt visible (mais coloration des eaux perceptible probablement due à un bloom phytoplanctonique)

**Moulin Blanc / rade** : pas d'algues sur les secteurs qui ont pu être survolés.

**Locquirec** : anse propre (très léger échouage brun = goémon très probablement)

**Baie de Saint Michel en Grève** : très petit échouage brun en bas d'estran. Des investigations poussées sur l'estran le jour du vol permettent d'attester **l'absence d'ulves dans les dépôts** : fucales, laminaires algues rouges et débris végétaux terrigènes. Les seules ulves trouvées sont de petites algues fixées sur les récifs d'hermelles (Beg ar forn).

**Trestel** : petit dépôts de goémons

Ledano = vasière « vierge » (confirmé par relevés de terrain)

**Binic/Etables** : petit échouage en bas d'estran sur les Godelins mais qui semble brun/rouge (pas d'ulves perceptibles contrairement à 2022).

**Baie de Saint Briec** : petit rideau et échouage de relativement faible extension et dominé par le brun. Seul le rideau laisse apparaître de franches nuances vertes. Les contrôles de terrain, le jour du vol (et guidé depuis l'avion) ont permis de bien caractériser les algues présentes. Les dépôts diffus et tapis **plus denses sont constitués majoritairement d'algues brunes filamenteuses (Pylaiella)** ce qui explique la perception « brune ». Mais dans ces dépôts des **ulves de petites tailles** (souvent autour de 1 cm de long mais parfois plus de 5 cm...) sont mêlées de façon très régulière. En rideau, la perception plus « verte » est **liée probablement surtout à une meilleure remise en suspension des ulves** (les Pylaiella restent plus au fond). Enfin des dépôts sont également présents sur les criques de l'ouest d'Hillion (relativement peu épais) et sur la plage de la Grandville. La présence de ces très **nombreux fragments d'ulves** en baie en cette fin février **pourrait impliquer une reprise précoce de la prolifération** en cas de temps calme et ensoleillé (la taille et forme des ulves semblent déjà attester d'une faible croissance). Mais la présence plus massive (autour de 95 % en proportion ?) de Pylaiella dans le contexte actuel d'eau encore froides (température SST mesurée par satellite est autour de 9 °C en baie) pourrait favoriser ces algues brunes. Et la présence massives des algues brune peut ralentir la croissance des ulves (effet sur la lumière, principalement). Enfin la survenue de tempêtes, encore de saison sur la fin février et le mois de mars pourrait contrecarrer ce démarrage en achevant la dispersion de ce stock de reconduction.

**Baie de la Fresnaye** : une bonne partie de la baie présente des échouages qui semblent très « bruns ». Aucun contrôle de terrain n'a pu être engagé (prévu fin février par Dinan Agglo) mais l'absence totale de nuance de vert perceptible laisse supposer **qu'il s'agit exclusivement de Pylaiella**. A cette période l'année 2022 présentait de veste tapis d'algues verte (ulvaria) ; la situation semble donc nettement plus favorable en 2023.

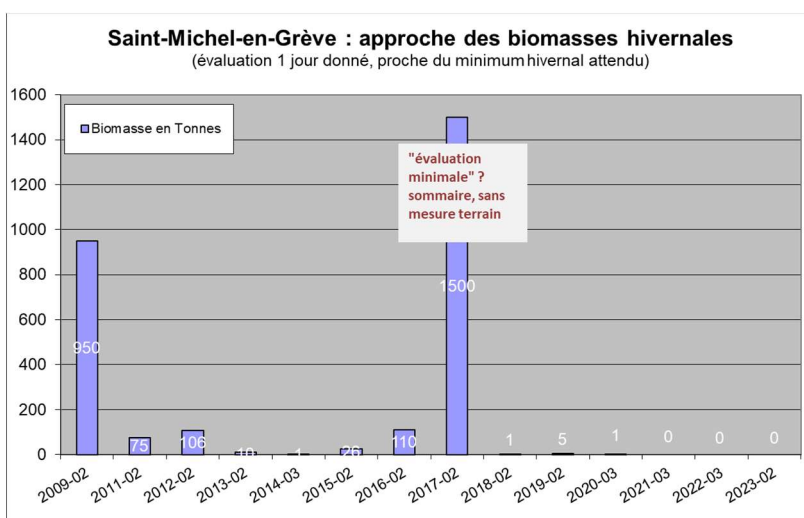


Figure 16 : estimation des biomasses en ulves sur la baie de Saint Michel en Grève utilisée comme « baie de référence » régionale pour la précocité.

## 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 (seuls ou en combinaison) pour pouvoir avoir un résultat le plus exhaustif et pertinent possible : «green-tide», «golden tide», «bloom», «prolifération», «macroalgae», «seaweed», «Ulva», «Green algae», «Sargassum», «Solieria», «Asparagopsis», «Gracilaria».

La recherche documentaire a été effectuée sur la période du 1er janvier au 31 décembre 2022 et complétée par le début de l'année 2023. Au total, 129 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

Les outils de télédétection se perfectionnent au travers 1) du développement de nouvelles méthodologies de détection des algues, 2) de l'utilisation de différents capteurs disponibles avec leurs avantages et inconvénients et 3) de la description et caractérisation de phénomènes tels que les blooms de macroalgues par rapport aux conditions environnementales.

#### Développement de nouvelles méthodologies

De nombreux algorithmes de détection ont été développés et améliorés au cours de la dernière décennie avec notamment l'utilisation accrue de techniques deep learning qui permettent d'entraîner un modèle de classification qui s'améliore en fonction de différentes situations d'apprentissage. Ces modèles peuvent désormais s'adapter selon les différentes résolutions spatiales et spectrales des capteurs afin de cartographier les algues vertes et leurs biomasses de manière plus efficace sur des images « basse-

résolution » comme MODIS en comparaison d'autres algorithmes classiques (Cui et al. 2022; Yuan, Chao, Xiao, Jie, Zhang, Xuelei, Zhou, Jian et Wang, Zongling 2022; Shang et al. 2023; Jin et al. 2022; Guan, Weibing et al. 2022; Liu Jinchao, Liu Jianqiang, Ding Jing, Lu Yingcheng et al. 2022; Le Gao et al. 2022) (Figure 17), ou dans des environnements plus complexes comme les algues immergées dans le proche côtier (rideau) *versus* échouées sur la plage (Shang et al. 2023; Zhang, Shuai et al. 2022) (Figure 18).

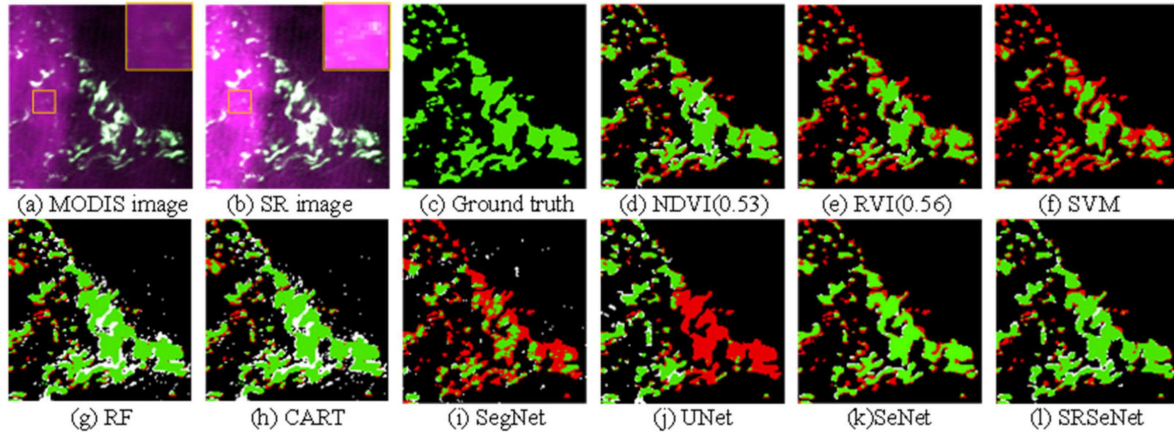


Figure 17. Comparaison des différentes méthodes de segmentation dont le nouveau modèle SRSe-Net pour la détection d'algues vertes dérivantes à partir d'images MODIS « basse-résolution ».

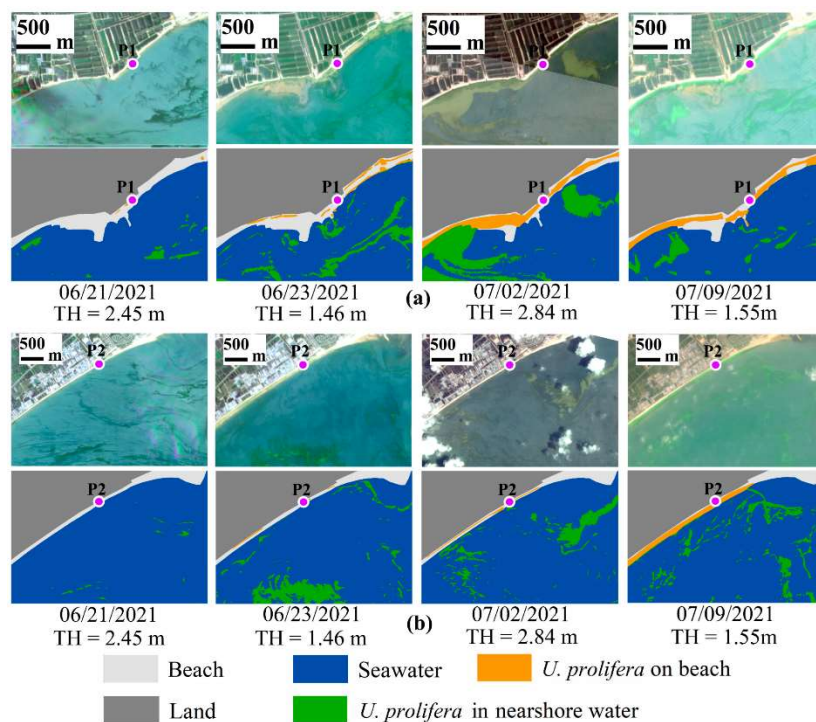


Figure 18. Cartographie des biomasses algales échouées sur la plage ou immergées dans le proche côtier (rideau) à partir d'images satellites haute résolution (Super Dove – PlanetScope).

L'utilisation des signatures spectrales permet également de mieux caractériser les blooms de macroalgues selon les différentes espèces proliférantes (Son et Choi 2022), ou pour différencier les groupes d'algues selon leur cortège pigmentaire jusqu'au niveau de l'espèce où les caractéristiques spectrales sont trop



proches pour distinguer les individus (exemple entre *Fucus spiralis* et *Fucus serratus*) (Douay et al. 2022) (Figure 19).

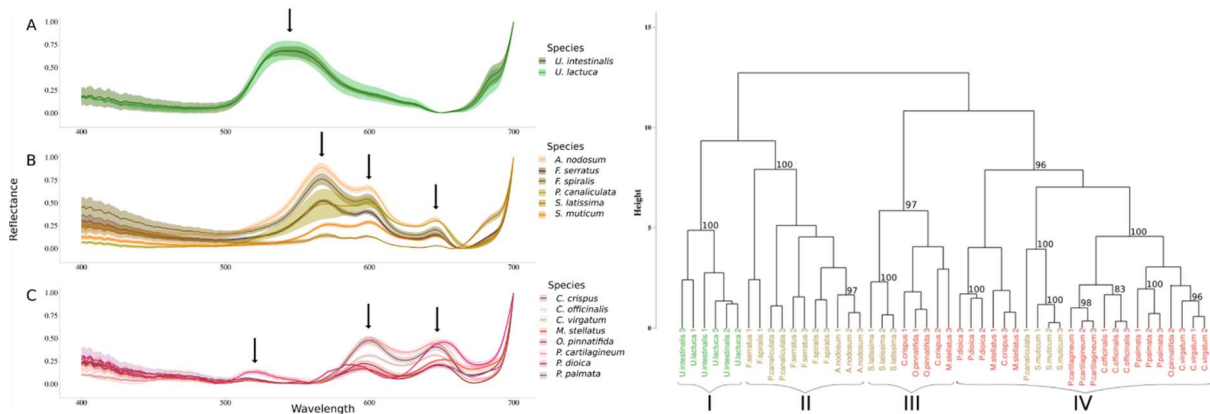


Figure 19. Signatures spectrales de différentes espèces de macroalgues et leur séparabilité selon l’algorithme SAM (Spectral Angle Mapper) aux différentes longueurs d’ondes spécifiques à chaque groupe d’algues.

### Combinaison des différents capteurs

L’intérêt des données de télédétection est également de pouvoir utiliser les différentes sources et capteurs en exploitant les bénéfices de chaque technique, en couplant par exemple les acquisitions historiques et régulières d’images satellites sur de grandes surfaces de couverture, avec des données à très haute résolution spatiale fournies par l’imagerie drone (Li, Dongxue, Gao, Zhiqiang et Wang, Zhicheng 2022; Shang et al. 2023; Hu et al. 2023). Les techniques radar couplées aux images optiques permettent également d’améliorer la détection (Ma et al. 2022; Sree, Yang et Rashid ahmed 2022a, 2022b; Qi, Wang et al. 2022) et notamment dans les cas où la couverture nuageuse est importante et que cela nécessite des traitements supplémentaires sur les images optiques (Xin, Liu et Miao 2022; An et al. 2022) (Figure 20).

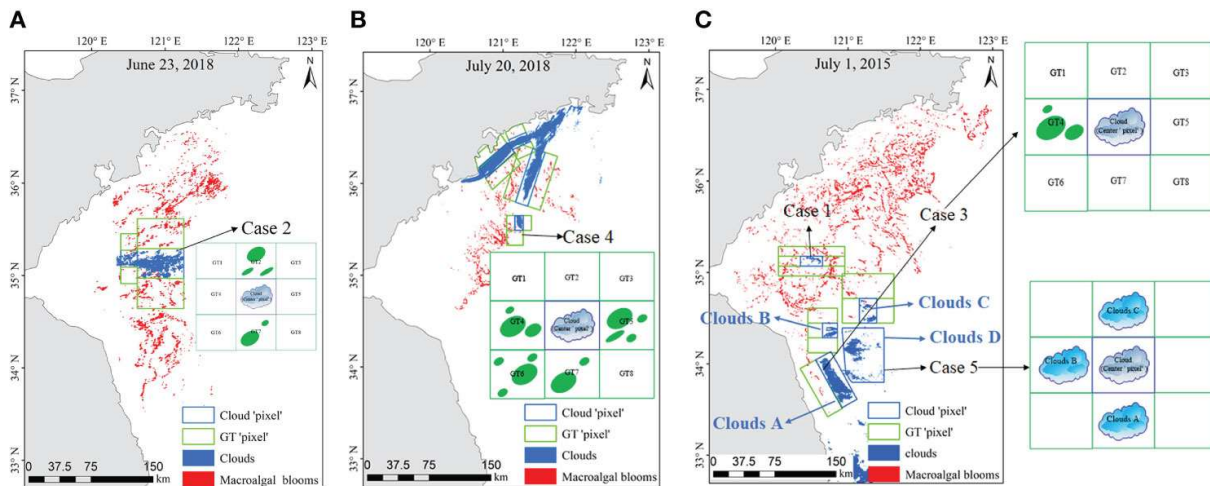


Figure 20. Détection des algues vertes masquées par des nuages sur des images MODIS selon une méthodologie de reconstruction des patches d’algues sous différents cas de figure.

Les données thermiques pourraient également compléter l’acquisition d’images optiques puisque des contrastes élevés apparaissent entre les ulves dérivantes et l’eau de mer environnante, de jour, comme de nuit (Song, Qingjun et al. 2022) (Figure 21).

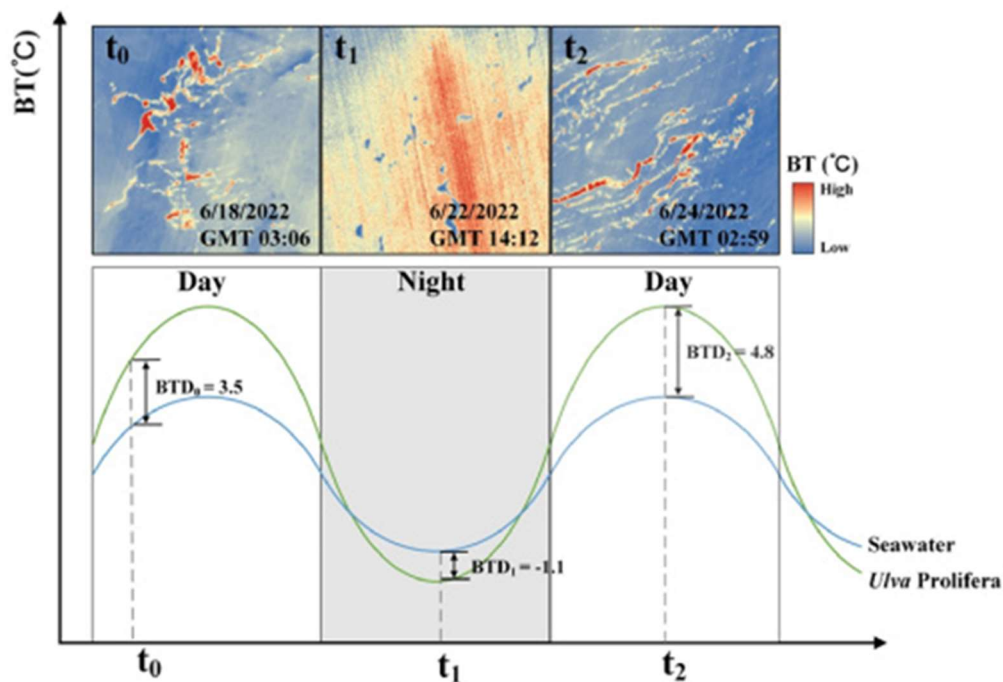


Figure 21. Détection des algues vertes dérivantes à partir de l'imagerie thermique du satellite ZY01-02<sup>E</sup>.

#### Compréhension des phénomènes de blooms en fonction des conditions environnementales

L'apport de la télédétection permet également de mieux comprendre les mécanismes naturels ou anthropiques liés à l'apparition des blooms de macroalgues en combinant les bases de données d'images ; acquises régulièrement (voire très haute fréquence) sur des périodes différentes, avec les paramètres physico-chimiques et climatiques locaux ainsi que les activités anthropiques. Zheng *et al.* (2022) décrivent donc les facteurs majeurs favorisant la croissance des algues et leur prolifération avec l'augmentation de la radiation lumineuse au printemps (à partir de mai) et de la température de surface de l'eau en juin et juillet. De plus, la pression anthropique liée aux cultures de *Pyropia yezoensis* ont également un impact sur l'ampleur de la marée verte, notamment en fonction des pratiques culturelles qui fournissent des substrats favorables à la colonisation et au développement des algues, ou encore avec les constructions portuaires qui peuvent modifier la circulation des courants (Son *et al.* 2022). Ces analyses sont corroborées par les analyses des séries chronologiques depuis la première marée verte d'importance en 2007 en Chine, avec également une influence des précipitations dans un environnement eutrophisé (Li, Dongxue, Gao, Zhiqiang *et Wang*, Zhicheng 2022). A plus large échelle, la surveillance de ces paramètres permet de définir des mesures de gestion dans un cadre opérationnel et d'évaluer les aires potentielles favorables aux proliférations macroalgales (Wang, Zhongyuan *et al.* 2022; Li, Dongxue, Gao, Zhiqiang *et Wang*, Yueqi 2022) (Figure 22 et Figure 25).

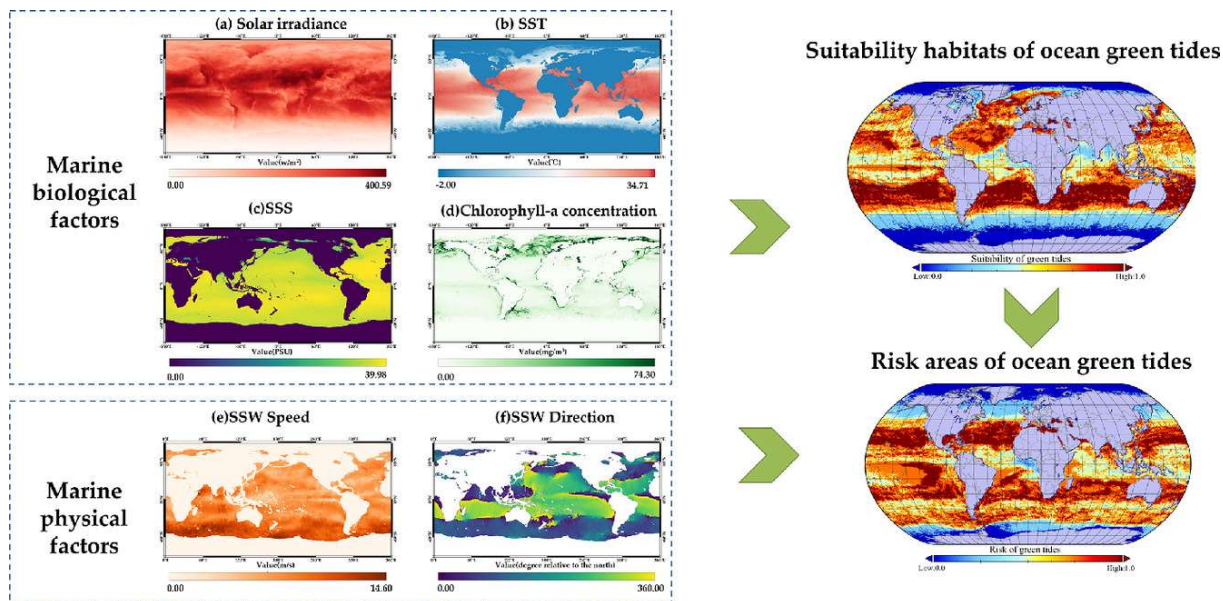


Figure 22. Aire de répartition potentielle des blooms de macroalgues vertes selon les paramètres biologiques et physiques du milieu.

#### 2.5.3.1.2. Descriptions locales du phénomène des marées vertes

La plupart des études (environ 49 articles) ont porté sur les blooms de macroalgues localisés en Asie, en mer Jaune de Chine principalement, dans le secteur de Qingdao ou la mer de Bohai. D'autres études ont été réalisées en Corée dans la baie de Shinyang ou sur la côte de l'île de Jeju par exemple. Seulement 2 études ont porté sur la description des marées vertes en Océanie. La première afin d'établir des métriques basées sur les macroalgues pour évaluer l'état d'eutrophisation des estuaires (Stevens et al. 2022) et l'autre pour décrire la diversité morphologique et génétique des 10 espèces d'ulves et de leur potentiel de formation de blooms en Nouvelle-Calédonie (Lagourgue et al. 2022). En Europe, Bermejo et al. (2022) ont étudié les biomasses ainsi que les contenus internes en azote, phosphore et  $\delta^{15}\text{N}$  d'algues vertes filamenteuses et en lame dans 3 estuaires irlandais (Argideen, Clonakilty et Tolka) entre 2016 et 2017. Les 3 estuaires montrent le maximum de biomasse au cours de l'été et les biomasses minimales durant l'hiver. Les analyses des tissus ont montré une limitation plus forte par le phosphore que par l'azote et l'analyse des sources par le  $\delta^{15}\text{N}$  lors du pic a montré une origine probable de l'agriculture pour les estuaires de Argideen et Clonakilty et des eaux usées pour l'estuaire de Tolka. Aucune différence n'a été démontrée entre les contenus des tissus des algues en lames par rapport aux algues tubulaires. Une autre étude menée en Irlande a permis de mettre en évidence l'impact des tapis d'algues sur les herbiers de zostères (Alghamdi et Young 2022). En comparant les sites impactés par des tapis d'algues et d'autres sans algues vertes, les analyses ont montré l'influence des niveaux élevés de phosphate sur la croissance des algues et sur la diminution des biomasses des herbiers. Les analyses granulométriques montrent également une part plus importante de la fraction limono-argileuse sur les sites en déclin.

#### 2.5.3.1.3. Descriptions locales d'autres proliférations macroalgales

##### Genre Sargassum

Les Sargasses sont majoritairement étudiées dans le cadre de phénomènes de proliférations de macroalgues, notamment en mer Jaune de Chine où elles peuvent se produire simultanément aux blooms de macroalgues vertes. Tout comme les algues vertes dérivantes, ces « marées dorées » sont suivies annuellement pour évaluer leurs dynamiques spatiale et temporelle à partir d'outils (e.g. télédétection)

similaires (Son et Choi 2022; Yuan, Chao, Xiao, Jie, Zhang, Xuelei, Fu, Mingzhu et Wang, Zongling 2022; Choi et al.; Zhang, Shuai et al. 2022).

Les Sargasses ont en effet un potentiel de prolifération en raison de certaines capacités d'adaptation aux conditions environnementales et notamment de protection contre les rayonnements solaires (Xu et al. 2022), mais les taux de croissances sont variables en fonction des paramètres physico-chimiques. Yan et al. (2022) ont mené des expérimentations selon **3 conditions de lumière** (Low-light (LL), 10  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; Middle-light (ML), 60  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; et High-light (HL), 300  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) et **3 conditions de concentration en nitrate** (eau de mer naturelle, concentration finale de N = 31.8  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , avec 30.5  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  et 1.3  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$ ; Enrichissement de  $\text{NO}_3^-$ , concentration finale de N = 200  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ; et Enrichissement de  $\text{NH}_4^+$ , concentration finale de N = 200  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) pendant **10 jours d'incubation**. Les résultats ont montré une croissance très rapide en conditions de forte intensité lumineuse accompagnée d'un enrichissement en  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NH}_4^+$  comme cela peut être retrouvé en milieu naturel. Par ailleurs, Wu, Hailong et al. (2022) montrent des effets antagonistes avec la température et notamment 1) une forte croissance à température ambiante combinée à une forte concentration en nutriments, mais 2) une inhibition de la croissance avec des températures plus élevées, renforcée par les fortes concentrations en nutriments, et suggèrent donc une diminution des biomasses futures de Sargasses en conditions d'eutrophisation et de changement climatique. Cependant, les conditions de température actuelles favorables pour la prolifération des Sargasses est probablement due à l'augmentation globale des températures des océans liée au changement climatique et Qi, Hu et al. (2022) suggèrent plutôt des occurrences plus précoces des proliférations de ces algues dans la saison.

Enfin, les blooms de Sargasses peuvent également engendrer des problématiques environnementales subsidiaires comme l'accumulation de microplastiques dans les thalles des individus (Zhang, Tao et al. 2022) (Figure 23), ou altérer les conditions propices à l'incubation des œufs de tortues dans le sable, lorsque ces algues s'échouent massivement sur les plages (Maurer, Gross et Stapleton 2022).

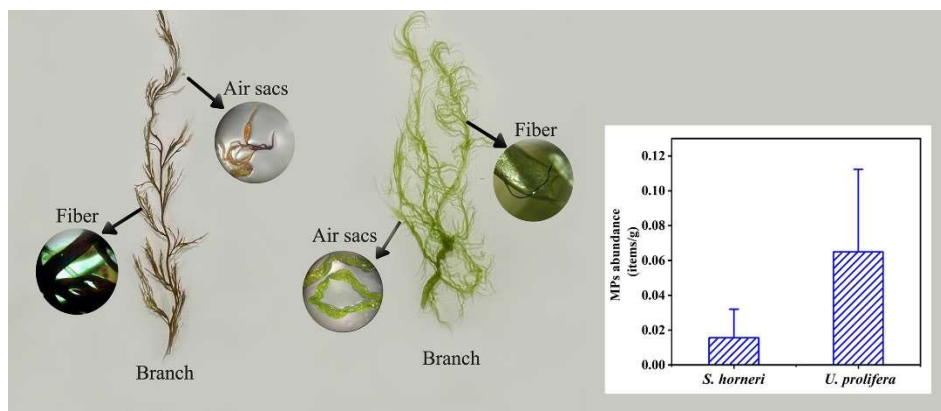


Figure 23. Accumulation de microplastiques dans les thalles de Sargasses ou d'algues vertes issus de blooms de macroalgues.

### Genre *Asparagopsis*

Une autre algue invasive, du genre *Asparagopsis* a été étudiée sur les côtes italiennes car elle est responsable de l'érosion des habitats benthiques et de la biodiversité dans les forêts d'algues indigènes *Ericaria brachycarpa* (algues brunes) (Mancuso et al. 2022). D'autre part, une revue sur *Asparagopsis* a été menée dans le but de définir des voies de valorisations et évaluer le ratio bénéfices/risques d'introduction de cette algue, dans l'alimentation des bovins (Glasson et al. 2022), cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

## Genre *Solieria*

De la même manière une étude sur l'algue *Solieria*, également connue pour créer des blooms lorsque les conditions lui sont favorables, a été menée pour évaluer les potentielles voies de valorisation de cette algue à travers ses capacités de biostimulation et biosorption (Spain et al. 2022), cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

### 2.5.3.2. *Impacts des proliférations*

#### 2.5.3.2.1. *Sur les organismes et les populations sauvages*

L'une des premières conséquences des proliférations algales et particulièrement des algues vertes est la compétition avec les organismes et populations indigènes. Cela touche l'ensemble des compartiments benthique et pélagique et de manière directe ou indirecte les organismes de niveaux primaires et secondaires.

Les blooms de macroalgues vertes peuvent par exemple engendrer une inhibition globale de la croissance du phytoplancton et des quantités de chlorophylle-a mesurées dans l'eau (Li, Dongxue, Gao, Zhiqiang et Wang, Yueqi 2022), accompagnées de modifications des peuplements du nano- ou pico- phytoplancton, avec par exemple une abondance plus élevée d'*Aureococcus anophagefferens*, responsable d'autres blooms de microalgues brunes (Zhao, Jia-Yu et al. 2022; Zhang, Weiqian et al. 2022).

La structure et diversité des communautés bactériennes marines sont également influencées par les proliférations de macroalgues avec des variations importantes entre la période de bloom et le déclin des algues (Zhao, Guihua, He, Hui, Wang, Hualong et al. 2022; Qu et al. 2022; Yuan, Yiming et al. 2022; Zhao, Guihua, He, Hui, Yue, Ming et al. 2022; Qu et al. 2023) (Figure 24), voire à l'échelle d'un cycle jour/nuit (Hou et al. 2022).

Les échouages d'algues peuvent également causer des dégâts sur les habitats remarquables d'herbiers marins et affecter le stockage du carbone réalisé par ces puits de carbone. En comparant 2 sites d'herbiers, l'un impacté par des proliférations d'algues, l'autre non, Chen, Shunyang et al. (2022) ont montré que dans les 30 premiers centimètres de sédiment, le contenu en carbone organique était moindre en présence des blooms d'algues (de 5.4 à 3.4 Mg C ha<sup>-1</sup>) et une contribution des herbiers révélée par les isotopes diminuée de 50 % à 25 %. Le déclin des herbiers peut donc être indirect en raison des changements des caractéristiques du sédiment sous-jacent, avec davantage de particules limono-argileuses, ou de manière plus direct, à cause des tapis d'algues qui recouvrent les plants (Alghamdi et Young 2022).

Cependant, les blooms d'ulves ne semblent pas jouer un rôle majeur dans les chaînes trophiques lorsque le milieu est régulièrement renouvelé comme c'est le cas pour la baie macrotidale de Saint-Brieuc. Au sein de cette dernière, malgré des zones de putréfaction qui ont un impact significatif sur le milieu, le périmètre de ces zones reste restreint (Sturbois et al. 2022). Ceci ne semble pas être le cas des estuaires où la présence de blooms de *Cladophora glomerata* contribue à l'abondance de consommateurs benthiques (broueteurs ou omnivores tels que les nématodes, gastéropodes, amphipodes, larves d'insectes) (Berezina et al. 2022).

Enfin, les Sargasses peuvent également engendrer des nuisances locales sur des populations indigènes, dont les échouages sur les plages entraînent des variations de température du sable (augmentation de 0.21°C en automne et diminution de 0.17°C en été), qui peuvent être significatives pour la survie des embryons et modifier le sex-ratio des œufs de tortues marines en milieux tropical et sub-tropical (Maurer, Gross et Stapleton 2022).

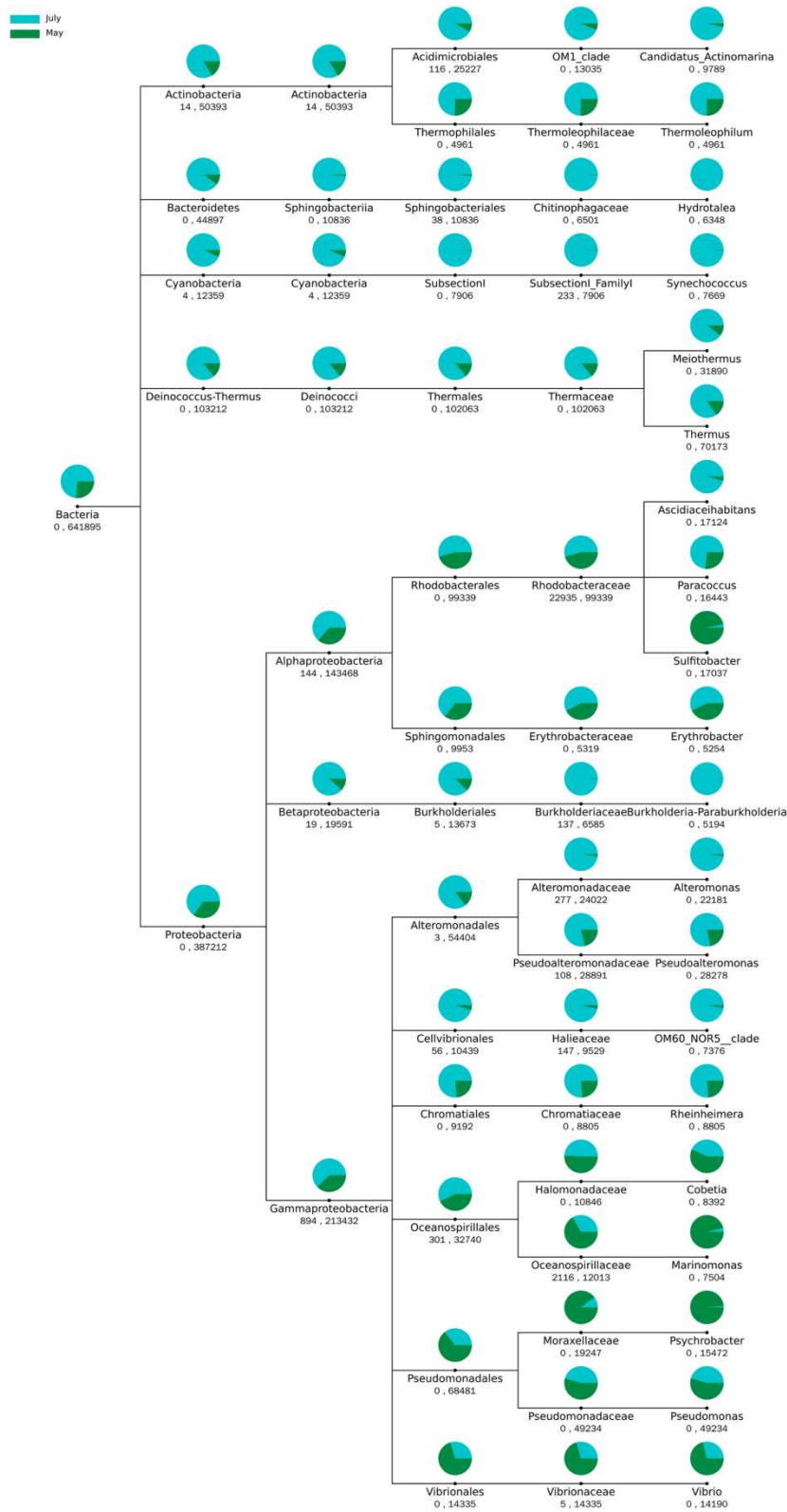


Figure 24. Exemple d'une succession de communautés microbienne au cours d'une saison de bloom entre des échantillons de mai et de juillet (extrait de Yuan, Yiming et al. 2022).

### 2.5.3.2.2. *Sur le milieu abiotique*

De nouvelles études décrivent les effets des proliférations d'algues sur le milieu abiotique qui varient en fonction des biomasses annuelles, notamment sur :

- le cycle des nutriments avec l'absorption jusqu'à 4000 t d'azote inorganique dissous (Wang, Sheng et al. 2022),
- la séquestration du carbone jusqu'à 37 % plus élevée en période de bloom et dont près de 54 % du carbone organique dissous absorbé pourrait être séquestré de manière durable (Li et al. 2023). Ceci influence intrinsèquement le carbone inorganique dissous et l'alcalinité des océans (Xiong et al. 2023),
- les matières organiques dissoutes y compris les glucides dissous totaux et les monosaccharides dont les concentrations varient selon la dynamique des blooms, de leur précocité et de la période de décomposition (Li et al. 2022),
- le cycle du nitrate (dénitrification, oxydation anaérobie de l'ammonium, réduction dissimilative du nitrate en ammonium (DNRA)) dans les sédiments de la zone intertidale qui évolue en fonction de la présence d'un tapis d'algues et qui induit une production de sulfure et augmente la contribution de la DNRA, bien que le taux de dénitrification soit toujours supérieur quelle que soit la présence ou l'absence d'algues (Senga et al. 2022),
- la quantité de microplastique qui est plus importante pour les algues vertes que pour les Sargasses, en raison de la morphologie des thalles et qui peut engendrer une pollution additionnelle (Zhang, Tao et al. 2022) (Figure 23).

### 2.5.3.2.3. *Sur les activités humaines*

En plus de ces impacts écologiques, il y a un impact économique et environnemental du traitement de ces algues vertes lorsqu'elles sont collectées. Chen, Zhihui et al. (2022) ont calculé que ce coût global pour Qingdao en 2021 a représenté 350 millions CNY (43,8 millions d'euros), consommé 46,7 kt équivalent pétrole fossile et émis 331 kt équivalent CO<sub>2</sub> de gaz à effet de serre pour la gestion de la marée verte en termes de traitements (incinération, décomposition rapide, stabilisation, recyclage).

Les nuisances causées par les marées vertes sur les populations locales de poissons se répercutent sur les activités de pêche car le risque de mortalité induit n'est pas pris en compte dans la définition des quotas de pêche durable. Ces proliférations représenteraient au moins 10 % de perte de biomasses et de prises supplémentaires par rapport à la mortalité naturelle sans marées vertes (Sun, Ming et al. 2022). Les blooms d'algues peuvent impacter plus globalement les chaînes trophiques et aussi se répercuter sur les activités de pêche en favorisant les poissons mésoprédateurs tout en réduisant les espèces qui ont un intérêt commercial (Lane-Medeiros et al. 2023).

### 2.5.3.3. *Facteurs contribuant au développement des marées vertes*

#### 2.5.3.3.1. *Facteurs anthropiques*

Dans les eaux côtières de Quinhuangdao (Chine), Han et al. (2022) démontrent que l'abondance des micropropagules (i.e. gamètes, spores, micro-germes, fragments micro-végétatifs) d'algues vertes est principalement contrôlée par les concentrations en azote du milieu, et la biomasse d'algues vertes présente. Les micropropagules d'algues vertes jouant un rôle majeur dans la reconduction des marées vertes dans cette région, les auteurs suggèrent que la mesure de gestion à privilégier pour limiter ces phénomènes de prolifération est de réduire les apports terrigènes en azote issus de la rivière Tang.

L'étude de Lei et al. (2022) s'intéresse aux proliférations de macroalgues qui se produisent régulièrement au niveau des récifs coralliens de la réserve naturelle nationale de Xuwen (Guangdong, Chine), et qui engendrent une perte de biodiversité. Les rejets des activités aquacoles de la zone ont été identifiés comme une des causes de ces blooms. L'étude met ainsi en évidence la nécessité de mettre en place des mesures de gestion adaptées pour limiter les rejets aquacoles, et restaurer la qualité chimique et biologique des récifs coralliens. L'hétérogénéité et la fragmentation des zones de mariculture favorisent également la prolifération d'algues vertes avec une corrélation entre les surfaces des marées vertes et l'expansion des surfaces de culture (Ai et al. 2023).

#### 2.5.3.3.2. Facteurs environnementaux abiotiques

##### *Impact du changement climatique*

Dans le but d'anticiper l'impact du changement climatique sur la dynamique des marées vertes, six études ont analysé, au moyen d'expérimentations en conditions contrôlées de laboratoire, les effets de l'acidification de l'océan, des vagues de chaleur et de l'augmentation de la température des eaux de surface, des précipitations et des apports terrigènes en nutriments sur les propriétés physiologiques d'*Ulva* spp.

Bermejo et al. (2023) montrent que la croissance d'*U. lacinulata*, une des deux principales espèces formant les marées vertes dans les zones estuariennes irlandaises, est favorisée par l'augmentation de la température ; *a contrario* de la seconde espèce, *U. compressa*. Les auteurs suggèrent que le réchauffement global des eaux irlandaises (4°C en 2100 en Irlande selon l'IPCC<sup>1</sup>) engendrera probablement une prolifération plus précoce d'*U. lacinulata*, ce qui s'accompagnera d'une augmentation des biomasses algales produites chaque année dans cette région du monde. Selon Green-Gavrielidis et Thornber (2022), la température n'aurait en revanche pas d'effet significatif sur les vitesses de croissance d'*U. compressa* et d'*U. lacinulata* et le facteur déterminant serait l'apport en azote au milieu. Ils concluent que l'augmentation des précipitations attendues dans le contexte du changement climatique pourrait favoriser le développement des marées vertes dans les systèmes côtiers, en engendrant une augmentation des apports azotés au milieu. L'acidification du milieu aurait également un impact positif sur la productivité d'*U. compressa* (Vinuganesh et al. 2022).

L'étude de Cai et al. (2023) indique que l'acidification du milieu inhibe la croissance d'*Ulva prolifera* lorsque les concentrations en nutriments dans le milieu sont élevées. Les résultats suggèrent que les proliférations de cette algue verte en Chine pourraient être favorisées jusqu'à un certain seuil d'acidification dans le futur. Dans ces conditions d'acidification, la croissance et les performances photosynthétiques d'*U. prolifera* seraient également réduites sous l'effet d'une lumière fluctuante (Zhong, Zhihai et al. 2022).

Jiang et al. (2022) montrent qu'*Ulva intestinalis* pourra s'adapter à l'intensification future des vagues de chaleur (1) en relarguant des micropropagules lorsque les niveaux d'azote dans le milieu sont faibles ou (2) en protégeant ses mécanismes de photosynthèse à de forts niveaux d'azote dans le milieu.

##### *Impacts des facteurs abiotiques sur les marées vertes de Chine*

La prolifération de l'algue subtropicale *Ulva meridionalis* a été pour la première fois observée en 2021 en zone tempérée de la mer de Bohai, dû aux conditions hydrologiques particulières de la saison estivale (Lü et al. 2022). Les auteurs font l'hypothèse que les thalles d'*U. meridionalis* ont été arrachés de leur substrat

---

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change



sous l'effet du typhon In-Fa, et que les températures exceptionnellement élevées de cette saison auraient ensuite favorisé la croissance de cette espèce sous forme dérivante.

En 2021, le sud de la mer Jaune a été marqué par la plus forte marée verte jamais rapportée dans cette zone depuis 2007. Deux études ont analysé les raisons de cette intensification des proliférations (Nukapothula, Yunus et Chen 2022; Zheng et al. 2022), en combinant des données environnementales (conditions physico-chimiques et activités anthropiques) et une analyse d'images satellites. Plusieurs facteurs de contrôle favorisant la croissance d'*U. prolifera* ont été identifiés : (1) la température des eaux de surface et l'ensoleillement qui étaient relativement plus élevés de mai à juillet comparé à la moyenne saisonnière, (2) l'augmentation des apports terrigènes en nutriments à la mer, ainsi que (3) le renouvellement plus précoce des radeaux de culture de *Neopyropia yezoensis* au nord de Jiangsu.

La combinaison d'images satellites et de données environnementales (*i.e.* température et salinité des eaux de surface, radiation solaire, concentration en chlorophylle *a* et vent de surface) a permis à Wang et al. (2022) d'identifier des zones propices à l'établissement des marées vertes à l'échelle mondiale. L'étude montre que ces zones sont localisées dans les régions océaniques tempérées nord et sud (Figure 25).

### Risk areas of ocean green tides

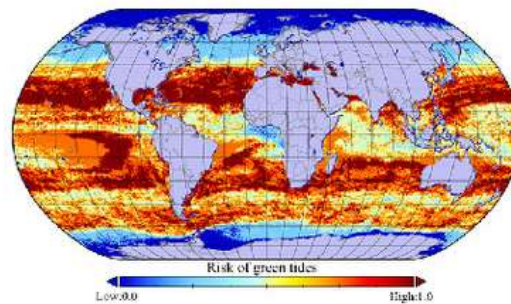


Figure 25. Localisation des zones à risque pour l'établissement des marées vertes (tirée de Wang et al. 2022)

Qi et al. (2022) ont également combiné des données d'observations sur le long-terme (*i.e.* biomasses, évolution des niveaux d'enrichissement en nutriments due aux activités anthropiques, évolution de la température) pour expliquer l'évolution des proliférations de *Sargassum horneri* et d'*Ulva prolifera* de 2000 à 2021 au niveau de la mer Jaune et de la mer de Chine. Les auteurs montrent que l'augmentation des biomasses de *S. horneri* a été principalement causée par l'augmentation de la température de l'eau. En revanche, l'augmentation des biomasses d'*U. prolifera* serait causée par les effets combinés de l'augmentation des activités anthropiques et de la température de l'eau.

#### 2.5.3.3.3. Métabolismes

Les mécanismes associés aux réponses physiologiques (*i.e.* photosynthétiques, de croissance, nutritionnelles et reproductives) des espèces responsables de marées vertes aux variations des facteurs environnementaux (*i.e.* intensité lumineuse, dioxyde de carbone, température, salinité, dessiccation, nutriments, métaux lourds, facteurs biotiques) ont fait l'objet d'une revue en 2022 (Ma et Li 2022).

Les autres études publiées dans cette section concernent les ulves proliférantes de Chine, et plus particulièrement l'espèce dominante des marées vertes *U. prolifera*. Les résultats principaux sont les suivants :

- *U. prolifera* montre une forte tolérance aux fortes intensités lumineuses, en comparaison d'autres espèces comme *U. linza*, *U. flexuosa* et *U. compressa*. Sous ce stress lumineux, elle est capable de se mettre en état de dormance, et de réduire sa consommation d'énergie associée aux processus physiologiques de développement non-vitaux (Gu et al. 2022).
- *U. prolifera* est capable de sur-compenser une période de faible croissance induite par des conditions de température et de lumière non-favorables, dès que les conditions redeviennent propices à son développement (Yu et al. 2022).
- *U. prolifera* a des vitesses de croissances plus élevées que *Bryopsis plumosa* et *Ulva australis* qui contribuent également aux biomasses d'algues vertes dans les eaux côtières de Qinhuangdao (Han et al. 2023). Cette espèce a par ailleurs un avantage compétitif en termes de vitesses d'absorption en nutriments.
- Les fortes expositions aux radiations d'ultraviolet-b des thalles d'*U. prolifera* engendrent une inhibition de la photosynthèse. Cette inhibition est d'autant plus marquée que l'exposition est de longue durée. *U. prolifera* est capable de mettre en place des mécanismes de protection pour contrebalancer les effets négatifs causés par ce type de radiations et s'adapter aux conditions de lumière sur le long-terme (Zhong, Yi et al. 2022)

#### 2.5.3.3.4. *Reproduction et cycles biologiques*

Plusieurs études se sont intéressées au rôle des micropropagules dans la dynamique des marées vertes en Chine. Parmi celles-ci, une revue synthétise les données d'observations (i.e. identification taxonomique, cycle de vie, distribution spatiale et temporelle) des micropropagules du sud de la mer Jaune et examine leur contribution à la prolifération d'algues vertes saisonnière (Cao et al. 2023) (Figure 26).

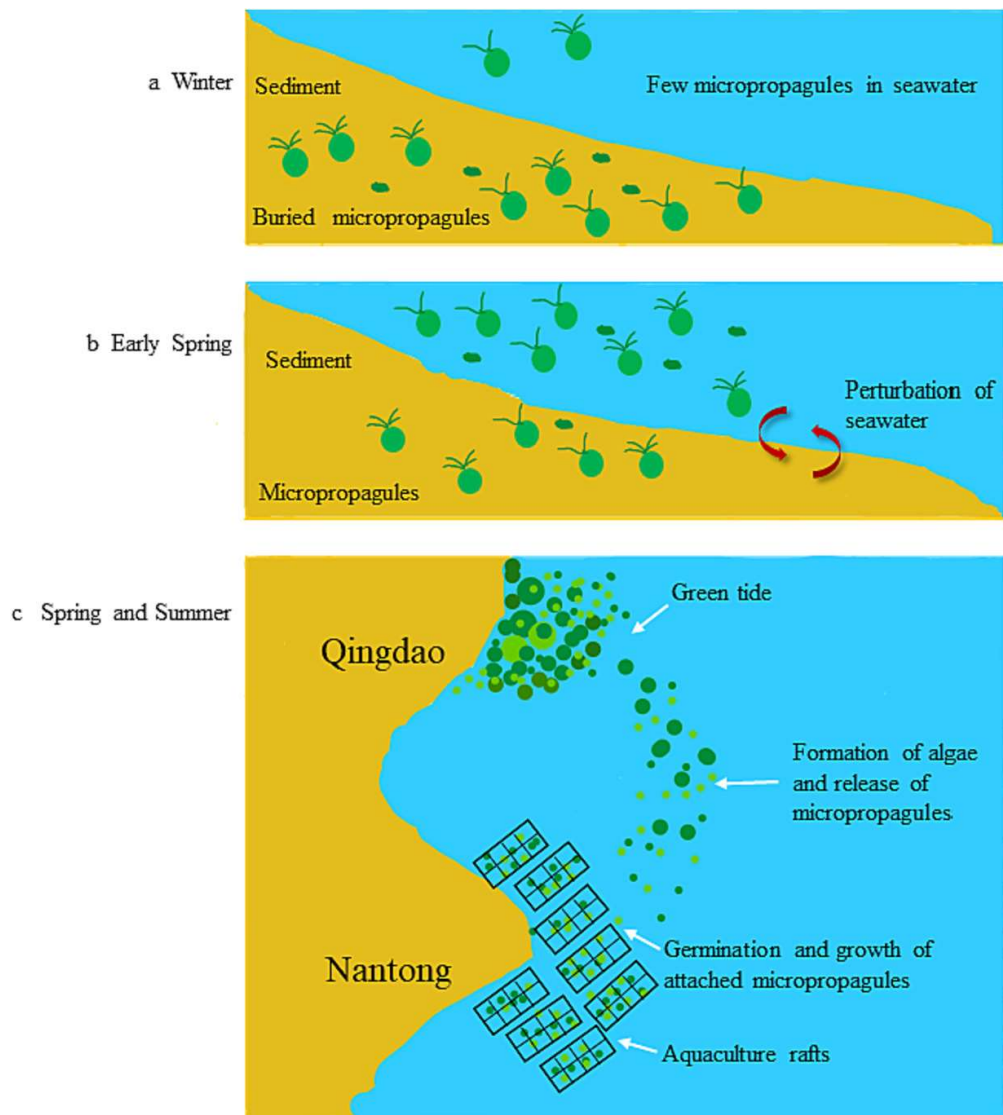


Figure 26. Mécanismes d'action des micropropagules dans l'établissement de la marée verte dans le sud de la mer Jaune (Cao et al. 2023). a) en hiver, les micropropagules sont enfouies dans le sédiment et survivent aux conditions hostiles du milieu ; b) au printemps, les micropropagules atteignent les eaux de surface, les conditions environnementales étant favorables à leur développement ; c) les micropropagules s'attachent ensuite aux radeaux de culture de *N. yezoensis* et commencent à germer et croître. Les plantules deviennent aussi une source de micropropagules supplémentaire au cours de la saison.

Han et al. (2022) ont confirmé que le stock résiduel de micropropagules (abondance et composition des espèces) persistant à la suite d'une marée verte conditionne l'intensité de la prolifération d'algues vertes de la saison suivante dans les eaux côtières de Qinhuangdao.

Tong et al. (2022) ont étudié la distribution spatiale et temporelle des algues vertes dérivantes et de leurs micropropagules dans les eaux surfaces de la mer de Chine, et de l'estuaire de la Rivière Changjiang au cours de l'hiver 2020. Leurs résultats suggèrent que la zone d'étude ne possède pas le stock de micropropagules nécessaire pour engendrer une prolifération dans la Mer Jaune.

À partir de la description de la distribution et de la composition génétique des micropropagules d'ulves présentes en mer de Chine au cours de la saison 2019, Zhao et al. (2022) ont montré (1) une forte proportion de micropropagules à Subei Shoal en avril, identifiées à 25% comme étant *U. prolifera* ; (2) la présence

localisée des micropropagules d'ulves au niveau des zones littorales où les algues dérivantes étaient présentes (*U. prolifera* étant l'espèce dominante), pendant la période juin-juillet ; (3) l'absence de micropropagules d'ulves en pleine mer au moment du déclin de la marée verte en septembre.

#### *2.5.3.3.5. Compétitions et interactions biologiques*

Selon Song et al. (2022), la prolifération massive observée en mer Jaune en 2021 pourrait être liée au faible développement de *Sargassum* sp. en comparaison aux années précédentes. Ce faible développement aurait pu limiter les phénomènes de compétition avec *U. prolifera*, et donc favoriser la croissance de cette dernière.

#### *2.5.3.4. Facteurs limitants le développement des marées vertes*

##### *2.5.3.4.1. Facteurs biologiques*

Fu et al. (2022) ont testé, au moyen d'expérimentations en laboratoire et in situ, le potentiel d'utilisation de matière sèche de l'algue rouge *Neopyropia yezoensis* pour limiter la germination d'*Ulva* sp. Les résultats confirment le pouvoir d'inhibition de *N. yezoensis* sur la germination et la croissance des ulves, ainsi que sur leur fixation au niveau des structures d'algoculture.

##### *2.5.3.4.2. Gestion des marées vertes et actions anthropiques*

En 2022, une revue a été publiée concernant les moyens de lutte et de prévention contre les proliférations d'*U. prolifera* (Xia et al. 2022). Cet article évalue les avantages et inconvénients des différentes approches (physiques, chimiques et biologiques) utilisées à ce jour pour réduire l'intensité des proliférations dans la mer Jaune. Les méthodes physiques sont jugées laborieuses à mettre à œuvre et demandent des ressources matérielles conséquentes. L'approche chimique est efficace, simple à appliquer et peu coûteuse. Plusieurs réactifs chimiques ont été utilisés : algicides oxydatifs, traitements acides, métaux lourds, revêtements antifouling et alcaloïdes. À l'heure actuelle, les approches biologiques sont au stade exploratoire. L'efficacité de ces méthodes à large échelle doit être confirmée et les mécanismes impliqués doivent être plus rigoureusement étudiés. Une deuxième revue documente le phénomène des marées vertes et les solutions de luttés mises en place à l'échelle mondiale (Ma et Chen 2022). Sur la base de cette synthèse, les auteurs proposent des mesures de gestion à appliquer pour limiter les proliférations d'algues vertes en mer Jaune, à Qingdao. Ces mesures de gestion devraient cibler la période d'initiation du bloom, et intégrer une voie de valorisation de la matière algale produite (en accord avec la discussion sur le sujet menée par Ren et Qin (2022)).

Concernant les radeaux de culture de *Neopyropia yezoensis* favorisant l'établissement des marées vertes au sud de la mer Jaune, deux articles ont testé l'application de méthodes d'élimination des ulves qui se fixent sur ces radeaux de culture. Sun et al. (2022a) ont montré que l'utilisation d'une solution acide (composée à 0,0475 % d'acide chlorhydrique et d'acide citrique) est efficace pour éliminer les algues vertes qui se développent sur les structures de culture de *Neopyropia yezoensis*, sans empêcher la croissance des espèces cultivées. Sun et al. (2022b) ont proposé une méthode de contrôle de ces proliférations d'algues vertes en début de saison, basée sur une approche chimique. Cette méthode n'engendrerait pas de pollution chimique significative du milieu et permettrait un maintien de la qualité des algues cultivées (*Neopyropia yezoensis*) sur les radeaux de culture. Ils suggèrent qu'une amélioration continue des processus de culture de ces algues est possible et nécessaire pour réduire l'échelle de la marée verte.

Un modèle, prenant en compte la dispersion et le déplacement des proliférations d'algues vertes, a été développé par Ai et al. (2022), dans le but d'aider à la mise en place, en cas de situations d'urgence, de

mesures de gestion optimisées en termes de ressources (type et le nombre), d'efficacité d'élimination, de temps d'action et de coût.

Xu et al. (2023) ont évalué la propension à payer des résidents chinois impactés par le phénomène des marées vertes pour des actions visant à éliminer totalement ces proliférations d'algues vertes et à reconquérir la qualité de l'environnement côtier. Ils estiment que les résidents chinois seraient prêts à payer au maximum 68,59 CNY (soit environ 9 €) par an pour arriver à ce résultat. Ils étudient le lien entre cette propension à payer et les caractéristiques socioéconomiques des résidents.

#### *2.5.3.5. Valorisation des algues vertes*

Les proliférations d'*Ulva prolifera* en mer Jaune s'accompagnent d'une forte production de biomasse algale dont la valorisation n'est pas optimisée. Sun et al. (2022c) ont donc rédigé une revue concernant la potentielle valorisation de cette algue proliférante dans les domaines de l'alimentaire, de la santé, des cosmétiques, des fertilisants, de l'énergie et de la papeterie. Les auteurs recommandent notamment, d'utiliser cette ressource tôt dans la saison quand les algues sont sous forme fixée.

##### *2.5.3.5.1. Agriculture, aquaculture et agroalimentaire*

Dans le but d'explorer la potentielle utilisation des algues *Ulva laetevirens* et *Solieria chordalis* comme co-produits pour l'alimentation des volailles, Stokvis et al. (2022) ont analysé les effets de ces co-produits d'algues sur la santé des animaux. Selon cette étude, l'intégration des co-produits issus d'*U. laetevirens* dans l'alimentation des volailles améliorerait les processus de croissance et de digestion des animaux, et réduirait les réponses inflammatoires. À l'inverse, aucun effet significatif n'a été observé sur la santé des animaux ayant ingéré des aliments contenant des extraits de *S. chordalis*.

Kotta et al. (2022) ont évalué le potentiel de la région de la mer Baltique pour la production d'algues à haute valeur ajoutée et l'impact de ces zones de cultures sur les concentrations en nutriments du milieu et zones adjacentes. Sur la base de ces résultats, ils ont réalisé une cartographie localisant les zones de culture à fort potentiel pour aider au développement d'initiatives en faveur du développement durable de la culture de macroalgues et la réduction in situ des rejets en nutriments dans la mer Baltique.

##### *2.5.3.5.2. Energie*

L'étude de Wu et al. (2022) vise à tester l'utilisation de résidus d'*U. prolifera* issus de l'extraction des polysaccharides solubles dans l'eau pour produire un bio-pétrole brut.

##### *2.5.3.5.3. Bio-indicateurs*

Une revue a été publiée concernant les indices et métriques pertinents pouvant être utilisés pour évaluer la qualité écologique des habitats touchés par des développements d'algues opportunistes en milieu aquatique (Gubelit 2022).

Stevens et al. (2022) ont confirmé la pertinence de l'indice « Prolifération des macroalgues opportunistes » (Opportunistic Macroalgal Blooming Tool, OMBT) dans l'estuaire de la New River en Nouvelle-Zélande, pour évaluer la réponse trophique aux apports de nutriments (en azote plus spécifiquement) au milieu, et aider à la mise en place de mesures de gestion dans les estuaires du pays.

##### *2.5.3.5.4. Bio-remédiation*

En plus de produire de la biomasse algale à forte valeur ajoutée, la culture de macroalgues est aussi visée en mer Baltique pour réduire les rejets in situ en nutriments provenant des bassins versants (Kotta et al. 2022).

#### 2.5.3.5.5. Biocharbon

Les espèces d'algues vertes *U. rigida* et *U. prolifera* ont été utilisées pour produire du biocharbon et fertiliser la plante *Arabidopsis thaliana* (2022). Les résultats montrent que les biocharbons issus de ces algues réduisent significativement la croissance de la plante de 5 %, sûrement dû aux fortes concentrations en sodium mesurées dans les échantillons.

#### 2.5.3.5.6. Valorisation d'autres macroalgues que les algues vertes

Glasson et al. (2022) ont publié une revue sur les bénéfices et risques d'introduire l'algue rouge, *Asparagopsis* sp., comme additif naturel à l'alimentation des bovins, dans le but de diminuer la production de méthane. Cette revue cible plus particulièrement les risques toxicologiques associés au bromoforme, qui est le composé organobromine bioactif le plus abondant et qui a le plus fort impact sur l'inhibition de la méthanogenèse chez les bovins.

Le potentiel de valorisation de gisements naturels d'algues autres que les ulves a fait l'objet de trois études :

- L'algue rouge *Solieria chordalis* a montré des bonnes propriétés de biosorption d'ions métalliques et a été envisagée comme biostimulant pour la croissance des plantes (Spain et al. 2022).
- L'activité d'inhibition de l'enzyme transcriptase inverse du VIH-1 associée à treize espèces d'algues des côtes brésiliennes a été étudiée (Harb et Chow 2022). Les résultats montrent que les extraits aqueux des algues ont généralement présenté une meilleure activité anti-virale que les extraits méthanoliques. Des extraits issus de *Alsidium seaforthii*, *Osmundaria obtusiloba*, *Dictyopteris jolyana*, *Spyridia clavata* et *Zonaria tournefortii* ont inhibé l'enzyme ciblée de 90 %.
- Les digestats d'*Ascophyllum nodosum*, de *Chaetomorpha linum* et de *Laminaria digitata* ont été utilisés pour améliorer la croissance et la composition chimique (contenu en lipide notamment) de microalgues cultivées (*Chlorella sorokiniana*) (Wahab et al. 2022).

#### 2.5.3.6. Caractérisation des algues vertes

##### 2.5.3.6.1. Génétique & biomoléculaire

###### *Analyse des génomes des espèces d'ulves proliférantes*

L'outil moléculaire a été utilisé dans le cadre de plusieurs études pour identifier les espèces d'algues vertes du genre *Ulva* spp., de manière à (1) enrichir les bases de données existantes, (2) évaluer la diversité biologique et la contribution de chaque espèce à la marée verte et (3) détecter des potentielles interactions entre différentes populations d'algues vertes (Tableau 1) :

Tableau 1. Synthèse des onze études ayant réalisé l'analyse moléculaire d'*Ulva* spp. entre mars 2022 et mars 2023

Auteurs	Zone géographique	Espèce d'algue	Objet	Principaux résultats
Han et al. (2022)	Mer Jaune Mer de Bohai (Qinhangdao)	<i>U. prolifera</i>	Analyse moléculaire pour évaluer la diversité génétique	Les populations d' <i>U. prolifera</i> qui prolifèrent à Qinhangdao ne sont génétiquement pas les mêmes que celles responsables des marées vertes en mer Jaune. Les deux marées vertes ont des origines et des modes de développement différents.
Hu et al. (2022)	Mer de Bohai Mer Jaune Mer de Chine (Est et Sud)	<i>U. meridionalis</i>	Séquençage ITS (espaceur interne transcrit) et caractérisation morphologique	Les séquences ITS d' <i>U. meridionalis</i> et de <i>U. pertusa</i> sont génétiquement similaires.
Lagourgue et al. (2022)	Nouvelle-Calédonie	Quinze espèces d'algues vertes	Identification morphologique et moléculaire des espèces d'ulves composant les proliférations en Nouvelle Calédonie	Quinze espèces (dont <i>U. lactuca</i> , <i>U. ohnoi</i> , <i>U. tepida</i> , <i>U. meridionalis</i> et <i>U. taeniata</i> ) ont été identifiées avec certitude et dix nouvelles espèces ont été découvertes. Sur ces espèces identifiées, sept sont connues pour contribuer aux marées vertes.
Lin et al. (2022)	Mer de Chine	<i>U. californica</i>	Séquençage du génome chloroplastique complet	Le génome comprend 92 126 paires de base et possède 96 gènes. L'analyse phylogénétique montre qu' <i>U. californica</i> est génétiquement distincte d' <i>U. aragoënsis</i> .
Liu et al. (2022)	Mer de Chine	<i>U. flexuosa</i> , <i>U. prolifera</i> , <i>U. intestinalis</i> , <i>U. torta</i> , <i>Ulva</i> spp.	Séquençage des mitogénomes (génome mitochondrial)	La caractérisation des mitogénomes de plusieurs espèces d' <i>Ulva</i> sp. a permis d'enrichir les bases de données existantes.

Liu et al. (2022)	Mer Jaune	<i>U. meridionalis</i>	Séquençage des mitogénomes	Le mitogénome principal se compose de 82 940 - 111 490 paires de base. Une analyse phylogénétique a été réalisée sur la base de cette caractérisation.
Liu et al. (2022)	Mer Jaune	<i>U. prolifera</i> , <i>U. linza</i>	Séquençage du génome chloroplastique	Deux marqueurs <i>psaB</i> et <i>petB</i> ont été identifiés pour distinguer ces deux espèces aux morphologies similaires.
Park et al. (2022)	Île Jeju (Corée du Sud)	152 spécimens d'ulves composant les marées vertes de la zone	Séquençage du génome chloroplastique	<i>U. ohnoi</i> et <i>U. pertusa</i> , algues vertes originaires des régions subtropicales, sont les espèces prédominantes toute l'année, suggérant que ces deux espèces contribuent le plus aux marées vertes locales.
Tong et al. (2022)	Mer Jaune	<i>U. aragoensis</i> , <i>U. prolifera</i> , <i>U. flexuosa</i> , <i>U. linza</i> et <i>U. compressa</i>	Analyse moléculaire et morphologique	<i>U. aragoensis</i> a une forte contribution aux micropropagules présentes dans l'eau de mer de surface en début de bloom. Un marqueur spécifique a été identifié pour distinguer cette espèce des autres par analyse moléculaire.
Wei et al. (2022)	Mer Jaune Mer de Chine (Est et Sud)	<i>U. californica</i>	Analyse moléculaire et morphologique	<i>U. californica</i> a été identifiée pour la première fois dans les eaux côtières de Chine. Cette espèce est native d'Amérique du Nord, et a été observée en Europe, Asie et Océanie ces dernières décennies.
Wen et al. (2022)	Mer Jaune	<i>U. torta</i>	Séquençage du génome chloroplastique	Le génome complet chloroplastique se compose 105 423 paires de base et de 100 gènes. Le génome est génétiquement similaire à <i>U. meridionalis</i> .





### Utilisation de la génétique pour mettre en évidence des processus physiologiques/biologiques

Quatre études ont utilisé l'outil génétique pour mettre en évidence des processus physiologiques et biologiques chez *Ulva* spp. :

- L'effet des variations d'intensité lumineuse et de température sur le transcriptome d'*U. compressa* a été étudié par Dong et al. (2022). Un groupe distinct de gènes s'est exprimé en réponse aux variations de lumière, et un autre groupe distinct sous l'influence des variations de température. L'expression de ces gènes permettrait à *U. compressa* d'adapter l'efficacité de sa photosynthèse et de maintenir une activité vitale en fonction des conditions du milieu.
- He et al. (2022) ont montré que le facteur UpMYB44 de transcription R2R3-MYB est un régulateur positif de la biosynthèse des caroténoïdes chez *U. prolifera*.
- La formation de spores d'*U. prolifera* s'est traduit par l'expression de 41 058 gènes (Jiang, Jianan et al. 2022). Cette formation s'est accompagnée d'une diminution des capacités photosynthétiques et du contenu en chlorophylle des algues.
- Les mécanismes physiologiques et moléculaires associés au stress de salinité chez *U. prolifera* ont été analysés par Zhuo et al. (2023). Sous conditions de stress lié à la salinité, plusieurs protéines associées aux mécanismes de protection et de résistance des algues sont régulées.

#### 2.5.3.6.2. Composition

Ning et al. (2022) ont publié une synthèse sur la composition chimique en polysaccharides et oligosaccharides d'*Ulva* spp. Ce sont des composés à fort potentiel de valorisation pour l'industrie alimentaire.

#### 2.5.3.6.3. Cycle de vie

En mer Jaune, la morphologie des thalles d'*U. prolifera* évolue au cours de son parcours du sud au nord de la baie d'Haizhou. Guan et al. (Guan, Chen et al. 2022) ont montré que les différences morphologiques observées sont associées aux stades de développement plutôt qu'à une acclimatation des algues à des conditions environnementales différentes entre la zone nord et sud.

## 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 2022 à un niveau soutenu. Les acteurs des SAGEs sont les premiers interlocuteurs et demandeurs d'informations. 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 2022 : précocité de certains secteurs (Baie de Saint Briec, de la Fresnaye et vasières du Sud Bretagne) puis prolifération nettement diminuée sur la baie de Saint Briec, changements d'espèces observés et lien avec les paramètres de l'année.

Le dossier « ramassage innovant » (mise au point d'un appel d'offre puis construction d'un outil et de stratégies pour un ramassage des algues en rideau par des moyens flottants) a demandé un nombre important d'interventions du CEVA sur 2022 tout comme les analyses des proliférations des vasières (« 10A2 » du SDAGE) dans l'optique de mise en place d'actions de reconquête.

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 2022, en plus de ces analyses sur le printemps puis l'été, le CEVA a réalisé, dans le cadre du programme CIMAV P1, une évaluation des stocks de reconduction d'ulves pour consolider la perception de la précocité attendue des proliférations 2022.

Le flux de l'année hydrologique 2022 a été bas et inférieur à la moyenne pluriannuelle (-42 % par rapport à la période 2010-2021). Ce flux annuel a surtout été bas sur la période de référence « mai-août » définie comme la plus sensible pour les proliférations (-46 % de flux par rapport à la moyenne mai-août 2010-2021). Le niveau de 2022 constitue même le niveau de flux le plus bas mesuré sur 2002-2022. Ce niveau de flux est en lien avec des concentrations en nitrates qui sont en baisse sur les 15 dernières années et des débits particulièrement bas en 2022. Les débits bas, eux même, sont liés à une pluviosité nettement inférieure à la normale : entre -17 % et -34 % suivant les stations météo sur octobre 2021-septembre 2022. La pluviosité a été particulièrement faible d'avril à août 2022 exception faite du mois de juin (excédentaire mais sans que ça entraîne de réelles reprises d'écoulements). Au niveau régional, les flux ont surtout été très bas sur les bassins versant « schisteux » (Gouessant, Frémur, Nord baie de Douarnenez) alors que les défauts de flux sont un peu plus modérés sur les bassins versants granitiques. Ces flux plus bas se sont traduits par des proliférations « régionales » parmi les plus basses en août-septembre (période prise en référence pour s'affranchir au mieux de la précocité du phénomène). Seule l'année 2011 présentait un cumul régional sur cette période légèrement plus bas (mais en 2011 les proliférations de l'algue brune *Pylaiella* avaient en grande partie remplacé les ulves, ce qui biaise la perception des surfaces).

Les 7 dernières années ont présenté des profils « très défavorables » dus majoritairement à des pluies très soutenues en juin (en particulier sur la baie de Saint Briec), 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). Cependant en 2022, ces apports de pluie excédentaires en juin, n'ont pas été très importants et surtout sont arrivés après une longue période de déficit hydrique et ont été répartis régulièrement dans le mois. Ces apports ont donc conduit à une humidification des sols uniquement sans augmentation significative des débits. Les flux ont alors montré une décroissance un peu inférieure à ce qui se serait passé sans ces pluies, mais sans réelle reprise de flux comme les années précédentes.

Le programme 2022 a également permis d'analyser la reconduction attendue sur 2022-2023 (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 21 février couplés à des évaluations de terrain. L'analyse des données de reconduction ont permis de prévoir une prolifération 2023 tardive (stocks globalement faibles, hiver dispersif) avec cependant un risque accru sur la Baie de Saint Briec (plus chargée que les autres en octobre 2022 et surtout dont la croissance s'est poursuivie jusqu'en décembre et dont la configuration rend le déstockage plus difficile). Les relevés lors du vol du 21 février et des opérations de terrain le même jour conforte cette analyse : seule la baie de Saint Briec présentait des quantités d'ulves non négligeables et même importantes (en nombre d'individus, de très petite taille mais répartis sur une partie importante de l'estran en mélange avec des macroalgues brunes *Pylaiella*).

Le volet « Veille » a permis, encore en 2022, 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 2022 à mars 2023)

*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 ».*  
(15/03/2022 au 15/03/2023)

## **Appui aux collectivités sur les marées vertes et moyens de lutte**

- 18 03 2022 : GT algues vertes du Golfe du Morbihan et Ria d'Étel : présentation des proliférations sur l'ensemble des secteurs, évolutions mesurées et liens avec les paramètres environnementaux (reconduction, flux par période,...).
- 24 03 2022 : EPTB Rance : réunion travail sur les flux et méthodes pour les estimer (en premier lieux, travail sur les débits).
- 29 03 2022 : note sur les objectifs en termes de flux pour limiter les proliférations en baie de la Fresnaye (demande DDTM+CC Dinan).
- 30 03 2022 : Sage Morlaix : réunion avec les services sur le travail réalisé par le Ceva dans le cadre 10A2 (flux terrigènes/sédimentaires) et croisement avec leurs connaissances du territoire et enjeux AV. Post réunion fourniture données carto algues vertes en baie de Morlaix et Penzé.
- 31 03 2022 : point Sage Douarnenez sur les calculs de flux aux exutoires de la baie.
- 07 04 2022 : pour Sage Baie de Saint Briec : reprise data de flux et débits en fonction des débits sur l'Ic et antérieurement sur le Leff. Corrélations sur période commune (but intégration des données dans le cadre HMUC).
- 15 04 2022 : réunion SBAA + ARS + Préfecture + mairies Agglo St Briec au sujet de la campagne mesure H2S et positionnement des capteurs, transmission des données.
- 26 04 2022 : Sage Golfe Ria D'Étel : échanges sur possibilité de percevoir les reports d'algues vertes dans le cas des vasières avec d'autres outils (suivis complémentaires drone, satellite, survols additionnels,...) et analyse des proliférations en fonctions des flux sur différentes périodes, paramètres température, éclairage, ....
- 02 05 2022 : pour le Morlaix Co, Sage Léon Trégor/Plav Locquirec : restitution étude modélisation Actimar « Moulin de la Rive » (modélisation du transport algues et nutriments) et réflexion sur nécessaire amélioration de l'estimation des flux locaux par mesures des débits et concentrations.
- 05 05 2022 : réunion CRB et AELB au sujet des modélisations et besoins d'amélioration des connaissances pour affiner les objectifs (modules P3).
- 09 05 2022 : commission AV Port la Forêt : situation AV de l'année, programme Plav
- 25 05 2022 : point avec commune Plougasnou sur les échouages repérés à Guerzit et saint Samson. Evolutions, suivis...
- 01 06 2022 : DDTM56 : situation particulière de Saint Armel (Golfe 56) et accumulation algues. Ramassage possible ? Point avec Préfecture 56 sur le ramassage en secteur vaseux : outils disponibles, contraintes, ....
- 09 06 2022 : au Conseil Départemental 22 : réunion restitution étude modélisation de la baie de Saint Briec et objectifs qualité de l'eau à atteindre.
- 17 06 2022 : Comité suivi PLAV de la baie de Douarnenez
- 22 06 2022 : réunion (visio) Baie de la Forêt : données de qualité de l'eau disponibles (débits, qualité, prélèvements) et méthodes reconstitution des flux aux exutoires.
- 28 06 2022 : réunion Sage Rance + Cresseb : travail sur les débits et flux arrivant dans la Rance pour estimation lien prolifération.
- 01 07 2022 : Clé Sage Golfe Ria Etel : Vannes, réunion spéciale algues vertes
- 01 07 2022 : réunion Préfecture 56 à Vannes : GT algues vertes sur vasières (actions préventives curatives).
- 05 07 2022 : synthèse pour CRB des ramassages sur les 8 baies PLAV et surfaces couvertes
- 11 07 2022 : pour Sage Golfe Ria Etel et CRC : sortie des zones les plus concernées par les dépôts d'algues vertes sur les années 2008-2020 (cartes mises en page et fichiers shp).
- 06 09 2022 : CRB : situation AV sur Saint Malo (port et putréfactions locales, risques pour CCI ?).
- 26 09 2022 : Fouesnant : réunion de l'Intersage : situation AV sur le territoire Ouest Cornouaille, Odet, Sud Cornouaille. Problématique AV ? moyens de lutte et cas particulier de leur territoire y compris classement DCE bloom.
- 26 10 2022 : Demande du SAGE Baie de Saint Briec de clés d'interprétation des concentrations en nitrates extrêmement basse rencontrées en 2022 sur le Gouessant .Situation rencontrée ailleurs ?
- 08 11 2022 : commission AV baie de Guissény : présentation évolution AV en baie et analyse cause

- 09 11 2022 : réunion à SBAA Saint Briec avec UBS (David Menier et Romain Grall): études des mouvements sédimentaires et impacts potentiels sur les AV ou putréfactions locales.
- 10 11 2022 : SAGE de la baie de Saint Briec : échanges sur les caractéristiques des années 2021 et 2022 et réactions en surfaces d'échouage.
- 10 11 2022 : Pour le SAGE Rance Frémur : relecture et propositions d'amendements / note d'estimation des flux parvenant à l'estuaire.
- 20 11 2022 : CC Lesneven : commission AV de la baie de Guissény. Présentation situation 2022 en Bretagne et sur la baie, surfaces, flux et indices d'eutrophisation.
- 08 12 2022 : Plomodiern CLE de la baie de Douarnenez. Situation régionale e locale, y compris indicateurs nutritionnels, différentes espèces proliférantes en baie et indicateurs DCE.
- 14 12 2022 : réunion comité pilotage Cimav : situation AV 2022 et lien paramètres environnementaux.
- 15 12 2022 : Sage Golfe du Morbihan Ria d'Étel : échanges sur les zone de dépôts les plus fréquent et flux sédimentaires (mesures Impro). Analyse lien intensité des prolifération et paramètres ensoleillement, flux.. Export données cartographiques pour utilisation SIG Sage.
- 16 01 2023 : demande AELB d'analyse des vasières bretonnes qui auraient besoin de compléments de mesure pour l'évaluation de leur état écologique.
- 07 02 2023 : Sage Baie de Saint Briec : réunion sur les méthodes d'estimations des débits sur l'Ic (lien avec MV et utilisation potentielle dans le cadre HMUC).
- 09 01 2023 : pour la Sage Golfe du Morbihan Ria d'Étel : extraction des données satellitaires Aqua Modis de SST (température de surface de la mer) pour analyser les liens entre cette donnée et les reconductions pluriannuelles.
- 16 01 2023 : Pour Sage Golfe Morbihan Ria d'Étel : synthèse des données acquises dans le cadre Impro et analyse par rapport aux valeurs de rejets sédimentaires prises dans le modèle 2015-2016 su Ceva. Conclusion sur la part sédimentaire dans la croissance de la biomasse d'ulve.
- 09 02 2023 : Clé de Saint Briec : présentation prolifération 2022 et lien flux. Comparaison flux et démarrage des saisons 2011 et 2022 (éléments sur les objectifs à atteindre).
- 16 02 2023 : Sage Lannion : synthèse des données sur le Sage, production cartographie des zones couvertes sur les années de suivi et taux de couverture (maillage fin à 25 m ; années 2010-2021) et note sur la situation du territoire (espèces, surfaces, position des échouages).
- 23 02 2023 : Sage Rance : analyse note proposée par le Sage sur les débits et flux ; propositions.
- 23 02 2023 : Réunion au Syndicat Mixte Ria d'Étel : comité de pilotage volet territorial 2021-2026 ; données AV.
- 03 03 2023 : Sage Ouest Cornouaille : note et échanges sur protocole mesure des débits et flux pour lien avec les proliférations observées.
- 13 03 2023 : Ispaña Ploufragan : Comité départemental PLAV : présentation AV et prolifération régionale sur 2022 avec zoom sur les baies des Côtes d'Armor ; perspectives précocité 2023.
- 15 03 2023 : cadre étude impact de la STEU de Pospoder, demande du Pays d'Iroise Communauté (BE Icema) de données sur la situation vis a vis des proliférations AV sur l'aber Ildut et environ (hypothèse changement position émissaire).

### **Autres réunions et rencontres techniques**

- 16 03 2022 : Guillaume Turbec : dispose de solutions pour le ramassage en eau des algues vertes. Demande d'informations sur les proliférations et outils de ramassage existants et contraintes...
- 17 03 2022 : ARS : échanges sur position des algues dans les baies PLAV, putréfaction et positionnement des capteurs H2S
- 22 03 2022 : rencontre « Drone et Océan » (projet ACCOST) : association montée en 2018 pour promouvoir les drones marins. Utilisations possible pour amélioration des connaissances (par ex. vasières et prélèvements eau) ou pour ramassage zones difficiles d'accès (rideau, ...)
- 23 03 2022 : réunion visio Préfecture 22 + Cedre sur les possibilités de collaboration sur le thème du ramassage des algues vertes.
- 23 03 2022 : échanges avec « B2H » de Plouigneau / ramassages ulves en rideau.
- 24 03 2022 : Société Castel (Landivisiau) : échanges sur travaux antérieurs et efficacité tapis pour collecte des algues vertes en rideau.

- 31 03 2022 : point ramassage expérimental en baie de St Briec (SBAA, préfecture)
- 04 04 2022 : réunion organisée par SBAA (préfecture, réserve, Ceva) : réunion de préparation de la saison ramassage en baie de Saint Briec.
- 05 04 2022 : ramassage innovant (M. Moser / lentilles d'eau et transposition pompage aux ulves)
- 05 04 2022 : ramassage innovant : projet barge faible tirant eau et compactage des AV (M. Turbec)
- 07 04 2022 : ramassage innovant : projet ERM de ramassage en rideau. Contraintes, atouts.
- 13 04 2022 : Appel offre ramassage innovant : réunion d'échanges sur les propositions déposées
- 14 04 2022 : valorisation des ulves : demande de la part d'Olmix de point de situation et prévisions.
- 04 05 2022 : ramassage innovant : échanges avec M. Turbec/conception barge ramassage et compression des AV
- 05 05 2022 : échanges Mairie Guissény/opérateur Natura 2000 au sujet du ramassage et teneur en eau, algues, sable des ramassages.
- 11 05 2022 : réunion Cedre + Préfecture + SBAA et Dinan Agglo : possibilité de ramassage sur les baes de Saint Briec et Fresnaye avec technologies issues pollutions pétrolières (barrages, barges, flushing, ...)
- 12 05 2022 : Ramassage innovant : échanges avec la société Société Castel sur expériences antérieures et évolutions possibles.
- 25 05 2022 : réunion SBAA / projet E. Loret inoculation virus « méditerranéen » à ulves dans bassin sur Hillion pour montrer mortalité. Pertinence, risque, conditions de réalisation éventuelle...
- 10 06 2022 : Société Saméar et Basedig (sur recommandation Air Breizh) : propose solution capteur qualité de l'air connectés et voudraient voir si pourraient être déployés pour suivis de la qualité des plages.
- 15 06 2022 : réunion du comité de pilotage du chantier expérimental Efinor à Saint Briec (SBAA).
- 16 06 2022 : Société 3T finance et Pyrocore (Yves Désiront et Gilles Godissat) : réunion visio avec Kerval. Objectif de conduire des essais de pyrolyse des algues vertes (1 T) : possibilité, contraintes pour transformation des AV en biochar (crédits carbone).
- 21 06 2022 : envoi données sur les compositions des algues dans le cadre projet de Pyrolyse de Pyrocore.
- 04 07 2022 : SDIS 22 et SBAA : libération H2S par les vasières du Légué et risque d'intoxication (exercices dans les zones vaseuses des pompiers sur Légué).
- 05 07 2022 : AV dans les cours d'eau de Franche Comté et lien eutrophisation, N ?
- 07 07 2022 : visite terrain Baie de Saint Briec puis baie de la Fresnaye avec Cedre, Préfecture, Réserve naturelle BsB, Sbaa et Dinan Agglo : possibilité d'utiliser les moyens/savoir-faire du Cedre pour la dépollution pétrolière dans le cas des algues vertes ?
- 09 08 2022 : réunion Air Breizh Olivier le Bihan / possibilité de lancer une thèse sur les émissions de H2S et AV
- 02 09 2022 : échanges M. Turbec / possibilité ramassage avec son « prototype » très petit fonds Ulcav.
- 15 09 2022 : réunion Préfecture, Mairie Hillion, SBAA, Réserve naturelle, Cedre, Le Floch dépollution / possibilité pompage vase des secteurs de la baie de Saint Briec en putréfaction.
- 21 09 2022 : Réunion préfecture 22, réserve naturelle, Natura 2000, SBAA / ramassage AV
- 21 09 2022 : « Arvorig Solutions »/ proposition de ramassage des AV en pleine eau avec système « alternatif ».
- 23 09 2022 : SBAA : échanges sur ramassage innovant et perspectives
- 29 09 2022 : à la demande de la Préfecture Région (Mire) : lecture du cahier des charges pour l'AO de suivi du chantier expérimental « ramassage innovant » et proposition d'amendements.
- 29 09 2022 : SBAA : point sur ramassage innovant (fonctionnement tapis et accès rideau/tirant d'eau)
- 30 09 2022 : à la demande de la DDTM29, choix photos pour illustrer les baies du PLAV
- 21 10 2022 : réunion avec Air Breizh+IMT au CEVA puis visite de terrain en Baie de Saint Briec : dans le cadre éventualité d'une thèse sur les émissions H2S et conditions, demande d'info sur les AV, quantités, connaissances paramètres, émission H2S,....
- 03 11 2022 : réunion au CD22 avec CD22, DREAL, AELB, Préfecture : estimation qualité de l'eau et flux. Intérêt d'utiliser des préleveurs automatiques pour améliorer l'estimation des flux.
- 10 11 2022 : Réunion avec « Statphyt » : questions autour des volumes d'AV ramassés par baie, variabilité, perspective. Question pour mise en place d'une solution de valorisation.
- 28 11 2022 : DREAL / hydrologie du Lesnevard, Moros, Styval et évaluation des flux.
- 30 11 2022 : mairie Hillion ; réunion travail sur la problématique des sédiments dégradés par les algues vertes et leur gestion. Analyses sédimentaires, scénarii de restauration dans l'objectif de limiter les impacts sur le milieu.
- 11 01 2023 : Réunion de présentation des tests mécaniques du navire MC 100A d'Efinor (ramassage innovant).

- 12 01 2023 : demande SBAA de données sur le ressuyage des algues et impacts
- 10 02 2023 : SBAA : partage informations sur les ramassages et outils déployés aux Antilles (Sargasses) et transpositions envisageables/contraintes particulières.
- 24 02 2023 : à la demande de la Préfecture (MIRE) : lecture et réaction sur la proposition du bureau d'Etude Pos3idon / impact du ramassage innovant.
- 01 03 2023 : EPTB Rance Fémur : échanges sur le plan de gestion sédimentaire (dragage vasières) et impacts possible sur les proliférations d'algues vertes.

## **Information sur les Marées vertes et le les moyens de lutte**

- 25 03 2022 : « Science Ouest » : dossier « algues vertes » en Bretagne. Réunion de préparation et transmission données.
- 01 04 2022 : Réunion (visio) Adrien Sourdille et Elisabetta Pietrostefani (London School of Economics and Political Science) / projet d'études des MV en Bretagne et impact socio éco.
- 06 04 2022 : sujet AV, situation, causes et conséquence : pour IUT Lannion Journalisme
- 26 04 2022 : magazine « Plante et Santé » : interview sujet MV et contrôle, suivis...
- 29 04 2022 : interview pour revue « Maires de France » (M. Brivet) au sujet AV, phénomènes, risque, moyen de lutte, etc...
- 02 05 2022 : « France Bleu Armorique » : situation AV notamment sur la baie de la Fresnaye et de Saint Brieuc.
- 12 et 20 05 2022 : Le Télégramme : point sur le démarrage saison AV en Bretagne et zoom situation baie Saint Michel en Grève
- 07 06 2022 : « Le Télégramme » : point sur les proliférations dans le Golfe du Morbihan.
- 10 06 2022 : Webinaire Science Po : restitution autour de leurs travaux encadrés par David Kanter sur les fuites N et acteurs en causes.
- 22 06 2022 : interview « Les Echo » : dans le cadre d'une « enquête » sur les PLAV et moyens de lutte, mesures des évolutions AV, ...
- 23 06 2022 : Interview « Le Télégramme » : situation AV Bretagne et cas particulier Baie de Saint Brieuc
- 29 06 2022 : interview INRAE sur l'utilisation des travaux INRAE dans l'étude des algues vertes (valorisation données).
- 15 07 2022 : interview Laurence Grun / reportage documentaire sur les territoires « impactés par l'industrie chimique du phosphate destiné à la production d'engrais »
- 18 07 2022 : échanges avec Anna Haapkyla, biologiste et journaliste scientifique. Travaille sur impact algues vertes et pêche.
- 20 07 2022 : interview par Jelena Prtoric, journaliste indépendante, dans le cadre de la réalisation d'une enquête sur la qualité des eaux en Europe, avec un focus sur la pollution de l'eau en Europe par l'agriculture dans le cadre de "Bertha Challenge Fellowship 2022"
- 17 08 2022 : Interview « Le Télégramme » sur situation AV et signification algues brunes en substitution en baie de Douarnenez.
- 18 08 2022 : échanges Labocéa sur situation AV en rade de Brest et signification grilles DCE.
- 14 09 2022 : interview / article « Le Télégramme » sur la situation AV en baie de Saint Michel en Grève
- 15 09 2022 : Interview « Ouest France » / situation AV en baie de Saint Michel en Grève
- 16 09 2022 : Réunion OFB (Alain Pibot,..) et natura2000 : sujet AV en Rade de Brest (constat tapis sur les fonds et données disponibles pour objectiver ces évolutions).
- 21 09 2022 : journée portes ouvertes du CEVA ; présentation des MV, suivis réalisés, évolutions mesurées
- 28 09 2022 : interview « Ouest France » / pré bilan régional des proliférations AV
- 12 10 2022 : « RCI Martinique » (M Pulvar) demande d'informations sur les AV en Bretagne et impacts sur la qualité de l'air.
- 13 10 2022 : interview « France Info » : saison MV 2022 et évolutions
- 14 10 2022 : INSA Rennes : projet capteurs pour prévenir gestionnaires en cas d'algues vertes dans les baies
- 25 10 2022 : « Le Télégramme » : situation AV en particulier sur la baie de Douarnenez, description différentes espèces présentes et signification.
- 26 10 2022 : Echanges avec étudiants GéoArchi : fermeture des plages et lien avec l'agriculture.
- 04 11 2022 : OEB : traitement des données 2021 et export pour une valorisation dans le cadre de la dataviz

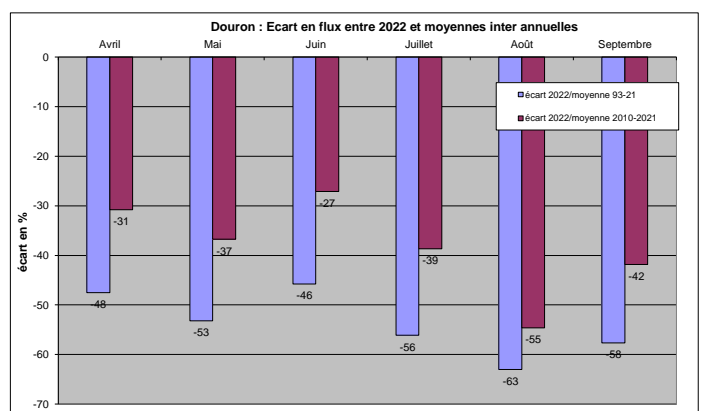
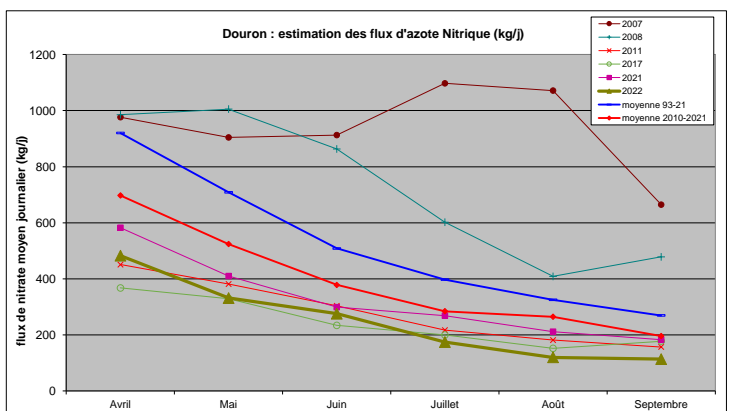
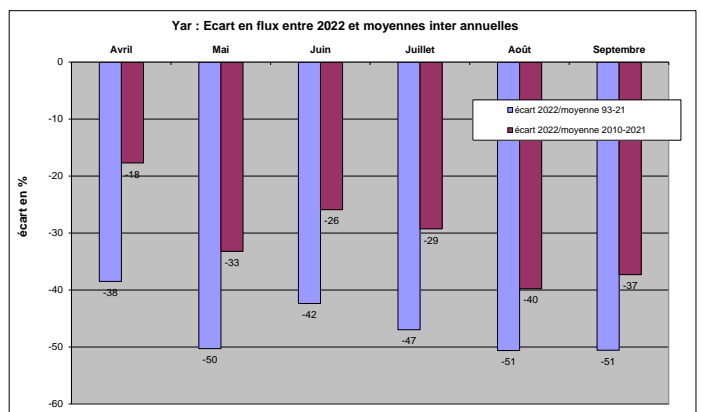
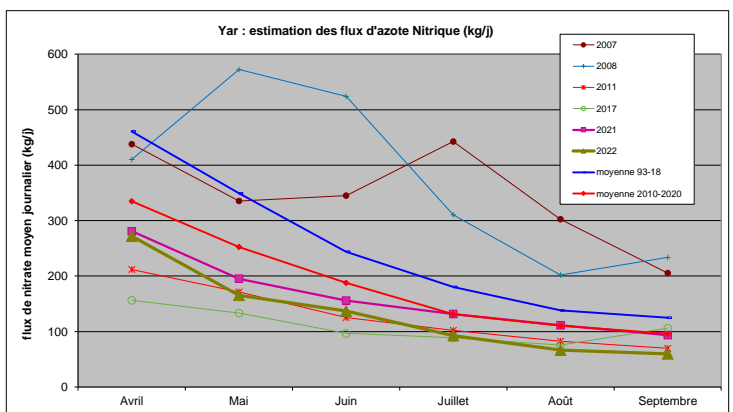
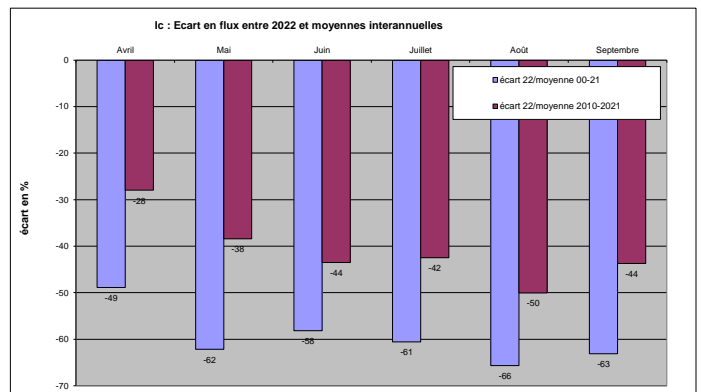
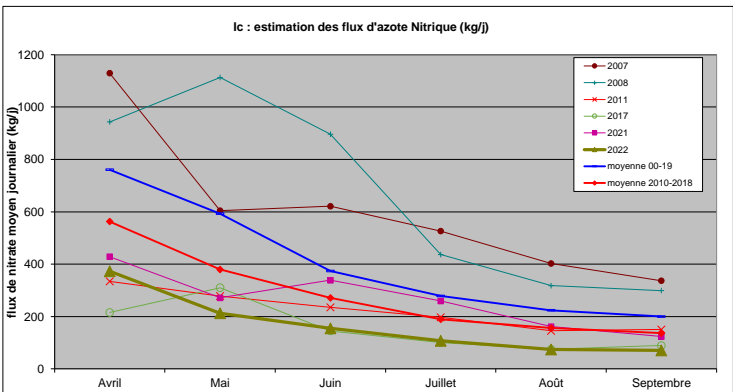
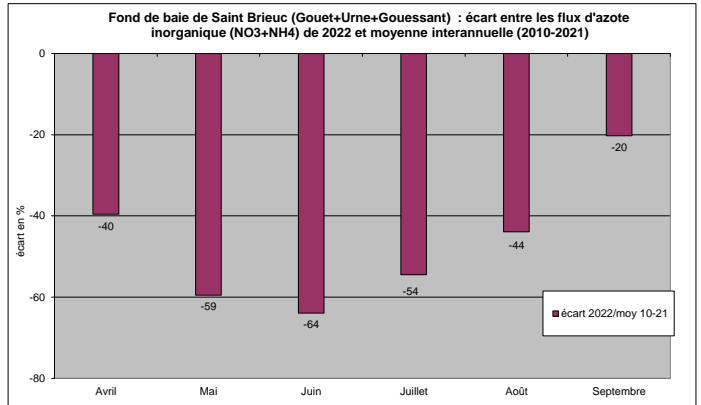
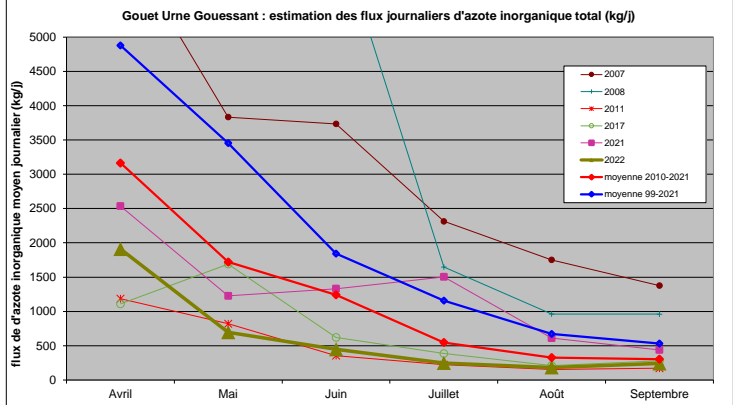
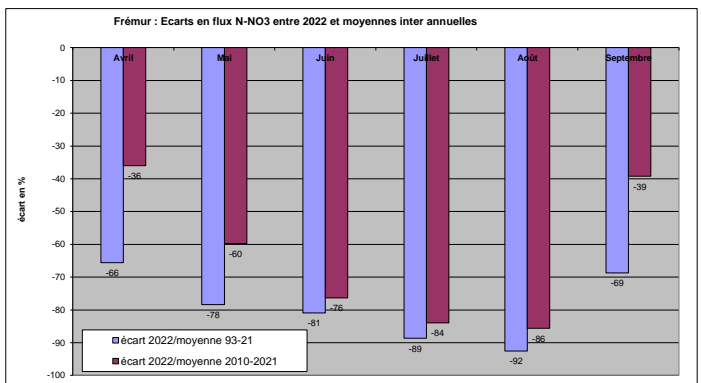
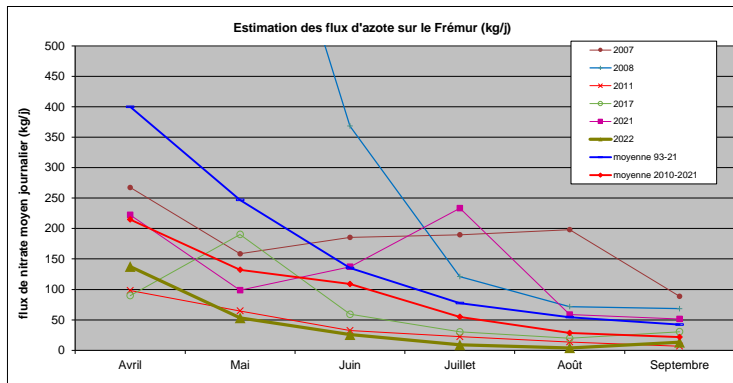


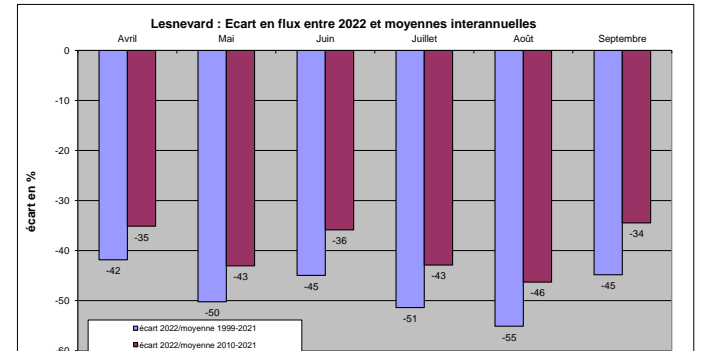
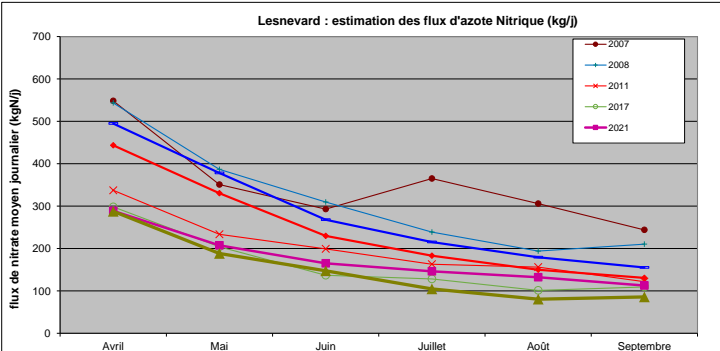
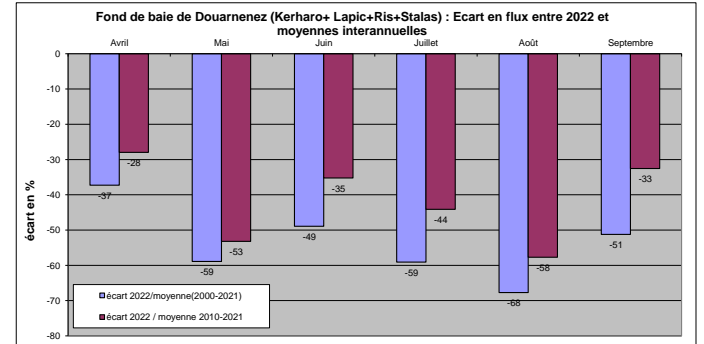
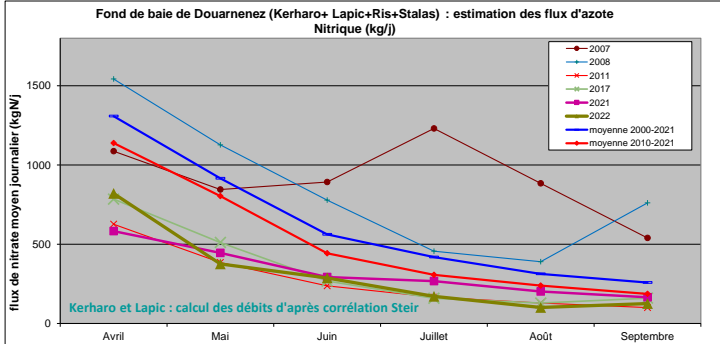
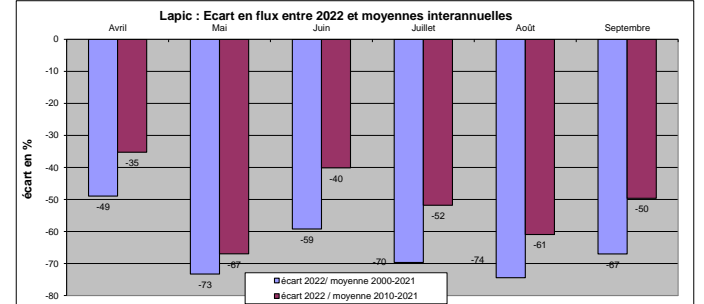
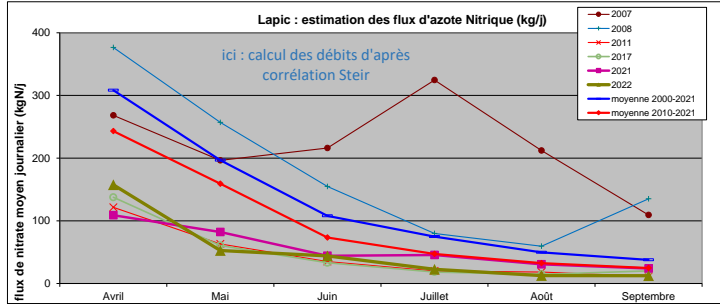
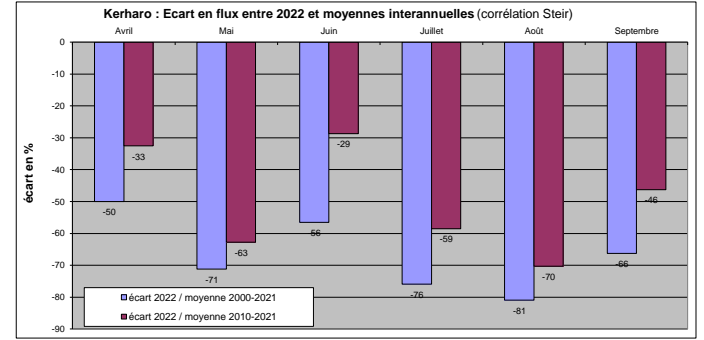
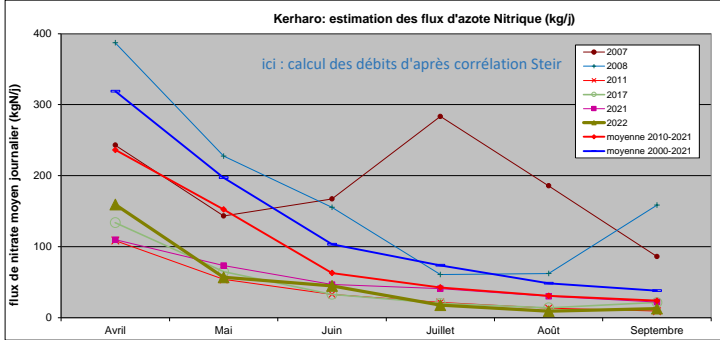
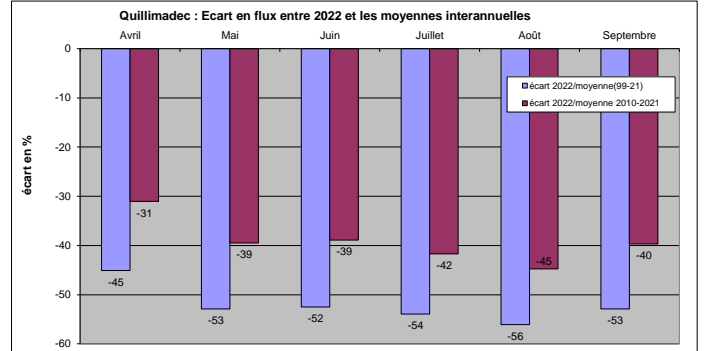
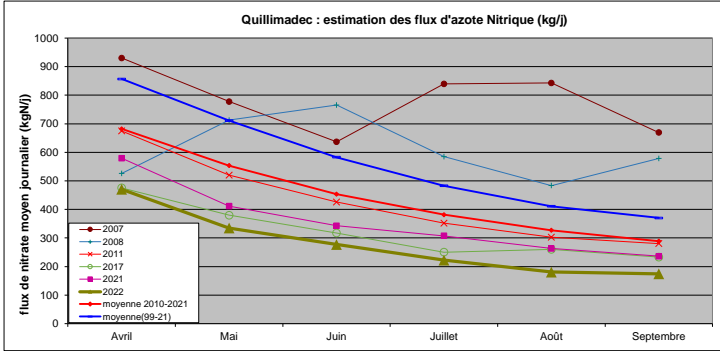
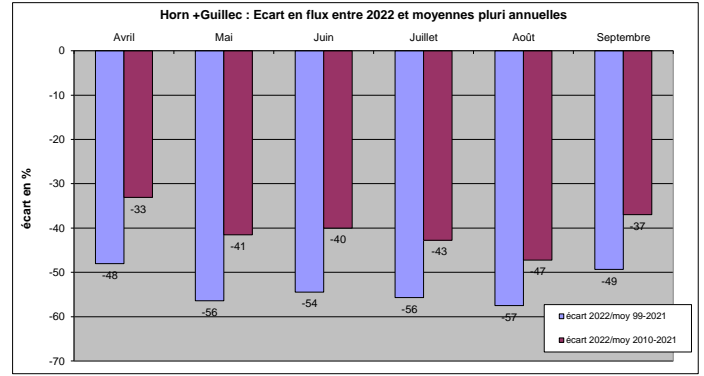
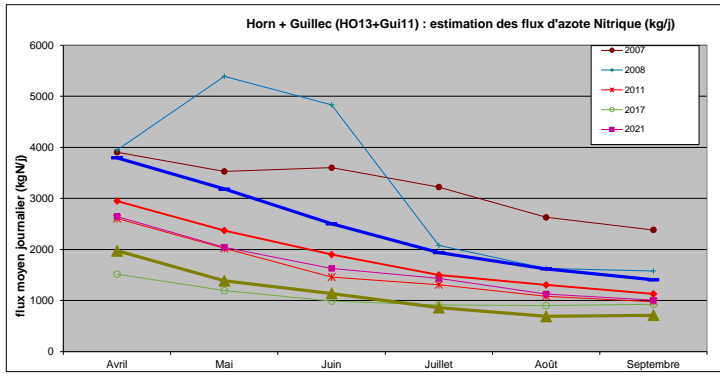
- 14 11 2022 : étudiants centrale Lille : av et valorisation.
- 15 11 2022 : Réunion étudiant AgroParisTech dans le cadre voyage d'étude en Bretagne. Rôle du Ceva sur les AV, suivis réalisés, résultats, impacts....
- 18 11 2022 : Groupe appui scientifique au Plav : montage projet Prétabaie.
- 21 11 2022 : poste linkedin / situation av 2022
- 05 01 2023 : Service Mer et Littoral (CGDD du Ministère de la Transition écologique) : données pour établissement des chiffres clés dont fourniture données et cartes
- 15 02 2023 : pour Ifremer (LERBN de Dinard) : compilation des données surfaciques sur la Rance.
- 17 02 2023 : 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.
- 06 03 2023 : Chambre Agriculture régionale : rédaction d'un dossier AV et demande photos pour illustration.



## Annexe 2

(flux 2022 sur les principaux cours d'eau)







## Annexe 3

(Publication bibliography)



- Ai, Bo; Wang, Peipei; Yang, Zhengyi; Tian, Yuxin; Liu, Dandan (2023) Spatiotemporal dynamics analysis of aquaculture zones and its impact on green tide disaster in Haizhou Bay, China. In : Marine environmental research, vol. 183, p. 105825. DOI: 10.1016/j.marenvres.2022.105825.
- Ai, Bo; Zhang, Dan; Jia, Maoxin; Wang, Xiaoliang; Gao, Jingxia; Wang, Lei et al. (2022) A Decision-Support Model for the Generation of Marine Green Tide Disaster Emergency Disposal Plans. In : Journal of Marine Science and Engineering, vol. 10, n° 12, p. 1890. DOI: 10.3390/jmse10121890.
- Alghamdi, Munirah Aziz A.; Young, Benjamin C. (2022) The influence of macroalgal mats on seagrass beds in Dungarvan Bay, County Waterford, Ireland. AACL Bioflux, 2022, vol. 15, no 5. En ligne : <http://www.bioflux.com.ro/docs/2022.2452-2459.pdf>.
- An, Deyu; Xing, Qianguo; Yu, Dingfeng; Pan, Shunqi (2022) A simple method for estimating macroalgae area under clouds on MODIS imagery. In : Frontiers in Marine Science, vol. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.995731.
- Berezina, Nadezhda A.; Tiunov, Alexei V.; Petukhov, Vasily A.; Gubelit, Yulia I. (2022) Benthic Invertebrates Abundance and Trophic Links in the Coastal Zone during Cladophora Blooms. In : Diversity, vol. 14, n° 12, p. 1053. DOI: 10.3390/d14121053.
- Bermejo, Ricardo; Galindo-Ponce, Maria; Golden, Nessa; Linderhoff, Charlene; Heesch, Svenja; Hernández, Ignacio; Morrison, Liam (2023) Two bloom-forming species of *Ulva* (Chlorophyta) show different responses to seawater temperature and no antagonistic interaction. In : Journal of phycology, vol. 59, n° 1, p. 167–178. DOI: 10.1111/jpy.13302.
- Bermejo, Ricardo; Golden, Nessa; Schrofner, Elena; Knöller, Kay; Fenton, Owen; Serrão, Ester; Morrison, Liam (2022) Biomass and nutrient dynamics of major green tides in Ireland: Implications for biomonitoring. In : Marine pollution bulletin, vol. 175, p. 113318. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.113318.
- Cai, Jianping; Ni, Jiakuan; Chen, Zeyu; Wu, Shiqi; Wu, Ruijie; He, Chuang et al. (2023) Effects of ocean acidification and eutrophication on the growth and photosynthetic performances of a green tide alga *Ulva prolifera*. In : Frontiers in Marine Science, vol. 10. DOI: 10.3389/fmars.2023.1145048.
- Cao, Jiaying; Liu, Jinlin; Zhao, Shuang; Tong, Yichao; Li, Shuang; Xia, Zhangyi et al. (2023) Advances in the research on micropropagules and their role in green tide outbreaks in the Southern Yellow Sea. In : Marine pollution bulletin, vol. 188, p. 114710. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.114710.
- Chen, Shunyang; Chen, Shiquan; Chen, Bin; Wu, Zhongjie; An, Wenshuo; Luo, Lizhen et al. (2022) Implication of Macroalgal Bloom to Soil Organic Carbon Stock in Seagrass Meadows - A Case Study in South Hainan, China. In : Frontiers in Marine Science, vol. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.870228.
- Chen, Zhihui; Liu, Min; Yang, Yuzhe; Bi, Mengyan; Li, Muyang; Liu, Wei (2022) Environmental and Economic Impacts of Different Disposal Options for *Ulva prolifera* Green Tide in the Yellow Sea, China. In : ACS Sustainable Chemistry & Engineering, vol. 10, n° 35, p. 11483–11492. DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c02638.
- Choi, Byoung-Ju; Kwon, Kyungman; Kim, Kwang Young; Kim, Keunyong Tracking the drifting of pelagic Sargassum rafts in the East China Sea and Yellow Sea using a coastal ocean modeling system. In : 8th International Coordination Meeting of the Coastal and Shelf Seas Task Team (COSS-TT). En ligne : <https://sciwatch.kiost.ac.kr/handle/2020.kiost/42498>.



- Cui, Binge; Zhang, Haoqing; Jing, Wei; Liu, Huifang; Cui, Jianming (2022) SRSe-Net: Super-Resolution-Based Semantic Segmentation Network for Green Tide Extraction. In : Remote Sensing, vol. 14, n° 3, p. 710. DOI: 10.3390/rs14030710.
- Dong, ao; Zhou, Lingjie; Cai, Chuner; Zha, Minjun; He, Peimin (2022) Condition-specific genes of *Ulva compressa* under light intensity and temperature stress : Research Square Platform LLC.
- Douay, Florian; Verpoorter, Charles; Duong, Gwendoline; Spilmont, Nicolas; Gevaert, François (2022) New Hyperspectral Procedure to Discriminate Intertidal Macroalgae. In : Remote Sensing, vol. 14, n° 2, p. 346. DOI: 10.3390/rs14020346.
- Fu, Meilin; Cao, Shichao; Li, Jingshi; Zhao, Shuang; Liu, Jinlin; Zhuang, Minmin et al. (2022) Controlling the main source of green tides in the Yellow Sea through the method of biological competition. In : Marine pollution bulletin, vol. 177, p. 113561. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113561.
- Glasson, Christopher R.K.; Kinley, Robert D.; Nys, Rocky de; King, Nick; Adams, Serean L.; Packer, Michael A. et al. (2022) Benefits and risks of including the bromoform containing seaweed *Asparagopsis* in feed for the reduction of methane production from ruminants. In : Algal Research, vol. 64, p. 102673. DOI: 10.1016/j.algal.2022.102673.
- Green-Gavrielidis, Lindsay A.; Thornber, Carol S. (2022) Will Climate Change Enhance Algal Blooms? The Individual and Interactive Effects of Temperature and Rain on the Macroalgae *Ulva*. In : Estuaries and Coasts, vol. 45, n° 6, p. 1688–1700. DOI: 10.1007/s12237-022-01048-y.
- Gu, Kai; Liu, Yuling; Jiang, Ting; Cai, Chuner; Zhao, Hui; Liu, Xuanhong; He, Peimin (2022) Effect of a short-term light stress on resistance, signaling, metabolism, and cell division of *Ulva prolifera* revealed by omics : Research Square Platform LLC.
- Guan, Chen; Zhao, Xinyu; Qu, Tongfei; Zhong, Yi; Hou, Chengzong; Lin, Zhihao et al. (2022) Physiological functional traits explain morphological variation of *Ulva prolifera* during the drifting of green tides. In : Ecology and Evolution, vol. 12, n° 1, e8504. DOI: 10.1002/ece3.8504.
- Guan, Weibing; Bao, Min; Lou, Xiulin; Zhou, Zhengxi; Yin, Kedong (2022) Monitoring, modeling and projection of harmful algal blooms in China. In : Harmful Algae, vol. 111, p. 102164. DOI: 10.1016/j.hal.2021.102164.
- Gubelit, Yulia I. (2022) Opportunistic Macroalgae as a Component in Assessment of Eutrophication. In : Diversity, vol. 14, n° 12, p. 1112. DOI: 10.3390/d14121112.
- Han, Hongbin; Li, Yan; Ma, Xiaojun; Song, Wei; Wang, Zongling; Fu, Mingzhu; Zhang, Xuelei (2022) Population differentiation in the dominant species (*Ulva prolifera*) of green tide in coastal waters of China. In : Acta Oceanologica Sinica, vol. 41, n° 11, p. 108–114. DOI: 10.1007/s13131-022-1985-5.
- Han, Hongbin; Li, Yan; Ma, Xiaojun; Song, Wei; Wang, Zongling; Zhang, Xuelei (2022) Factors influencing the spatial and temporal distributions of green algae micro-propagules in the coastal waters of Jinmenghaiwan, Qinhuangdao, China. In : Marine pollution bulletin, vol. 175, p. 113328. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113328.
- Han, Hongbin; Li, Yan; Wang, Zongling; Song, Wei; Ma, Xiaojun (2022) Tempo-spatial distribution and species composition of green algae micro-propagules in the coastal waters of Qinhuangdao after green tides bloom in 2020. In : Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 276, p. 108054. DOI: 10.1016/j.ecss.2022.108054.



- Han, Hongbin; Wen, Ruobing; Wang, Hui; Zhao, Sheng (2023) Comparison of growth and nutrient uptake capacities of the three dominant species of Qinhuangdao green tides. In : *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 42, p. 1–10. DOI: 10.1007/s13131-022-2100-7.
- Harb, Talissa Barroco; Chow, Fungyi (2022) Anti-HIV activity of methanolic and aqueous extracts of fifteen materials of beach-cast macroalgae: valorization of underused waste biomass. In : *Applied Phycology*, vol. 3, n° 1, p. 236–246. DOI: 10.1080/26388081.2021.1986677.
- He, Yuan; Li, Mengru; Wang, Yehua; Shen, Songdong (2022) The R2R3-MYB transcription factor MYB44 modulates carotenoid biosynthesis in *Ulva prolifera*. In : *Algal Research*, vol. 62, p. 102578. DOI: 10.1016/j.algal.2021.102578.
- Hou, Chengzong; Qu, Tongfei; Zhao, Xinyu; Xu, Jinhui; Zhong, Yi; Guan, Chen et al. (2022) Diel metabolism of Yellow Sea green tide algae alters bacterial community composition under in situ seawater acidification of coastal areas. In : *The Science of the total environment*, vol. 807, n° Pt 1, p. 150759. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150759.
- Hu, Chuanmin; Qi, Lin; Hu, Lianbo; Cui, Tingwei; Xing, Qianguo; He, Mingxia et al. (2023) Mapping *Ulva prolifera* green tides from space: A revisit on algorithm design and data products. In : *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 116, p. 103173. DOI: 10.1016/j.jag.2022.103173.
- Hu, Meijuan; Zhao, Shuang; Liu, Jinlin; Tong, Yichao; Xia, Zhangyi; Xia, Jing et al. (2022) The Morphology, Genetic Diversity, and Distribution of *Ulva meridionalis* (Ulveae, Chlorophyta) in Chinese Seas. In : *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, n° 12, p. 1873. DOI: 10.3390/jmse10121873.
- Jiang, Jianan; Li, Yahe; Hu, Chaoyang; Zhu, Wenrong; Xu, Nianjun (2022) Transcriptomic Analysis Reveals the Regulation Mechanism of Sporogenesis in *Ulva prolifera*. In : *Frontiers in Marine Science*, vol. 9, p. 103. DOI: 10.3389/fmars.2022.802006.
- Jiang, Meijia; Gao, Lin; Huang, Ruiping; Lin, Xin; Gao, Guang (2022) Differential responses of bloom-forming *Ulva intestinalis* and economically important *Gracilariopsis lemaneiformis* to marine heatwaves under changing nitrate conditions. In : *The Science of the total environment*, vol. 840, p. 156591. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156591.
- Jin, Xifang; Li, Yun; Wan, Jianhua; Lyu, Xinrong; Ren, Peng; Shang, Jie (2022) MODIS Green-Tide Detection With a Squeeze and Excitation Oriented Generative Adversarial Network. In : *IEEE Access*, vol. 10, p. 60294–60305. DOI: 10.1109/access.2022.3180331.
- Kenneth, Finlay; Joniver, Catherine F.H.; Meredith, William; Adams, Jessica M.M. (2022) The productivity effects of macroalgal biochar from *Ulva* (Linnaeus) bloom species on *Arabidopsis thaliana* (Linnaeus) seedlings. In : *European Journal of Phycology*, p. 1–16. DOI: 10.1080/09670262.2022.2103739.
- Kotta, Jonne; Raudsepp, Urmas; Szava-Kovats, Robert; Aps, Robert; Armoskaite, Aurelija; Barda, Ieva et al. (2022) Assessing the potential for sea-based macroalgae cultivation and its application for nutrient removal in the Baltic Sea. In : *The Science of the total environment*, vol. 839, p. 156230. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156230.
- Lagourgue, Laura; Gobin, Siloë; Brisset, Maele; Vandenberghe, Simon; Bonneville, Claire; Jauffrais, Thierry et al. (2022) Ten new species of *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta) discovered in New Caledonia: genetic and morphological diversity, and bloom potential. In : *European Journal of Phycology*, vol. 57, n° 4, p. 458–478. DOI: 10.1080/09670262.2022.2027023.





Lane-Medeiros, L.; Puppim-Gonçalves, C. T.; Angelini, R.; Lira, A. S.; Lucena-Frédou, F.; Freire, F. A. M. (2023) Macroalgal blooms affect the food web of tropical coastal ecosystems impacted by fisheries. In : *Marine environmental research*, vol. 184, p. 105858. DOI: 10.1016/j.marenvres.2022.105858.

Le Gao; Li, Xiaofeng; Kong, Fanzhou; Yu, Rencheng; Guo, Yuan; Ren, Yibin (2022) AlgaeNet: A Deep-Learning Framework to Detect Floating Green Algae From Optical and SAR Imagery. In : *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 15, p. 2782–2796. DOI: 10.1109/jstars.2022.3162387.

Lei, Xinming; Zhang, Yuyang; Jiang, Lei; Luo, Yong; Zhou, Guowei; Sun, Youfang; Huang, Hui (2022) Zonal macroalgae blooms influenced by different aquaculture discharges in the Xuwen fringing reef, southern China. In : *The Science of the total environment*, vol. 822, p. 153594. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153594.

Li, Bing-Han; Hu, Jing-Wen; Xin, Yu; Liu, Chun-Ying; Li, Pei-Feng; Yang, Gui-Peng (2022) Changes in dissolved organic pool and regulation of associated nutrients during green tides: A case study of *Ulva prolifera* bloom in the southern Yellow Sea. In : *The Science of the total environment*, vol. 838, n° Pt 1, p. 155878. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155878.

Li, Dongxue; Gao, Zhiqiang; Wang, Yueqi (2022) Research on the long-term relationship between green tide and chlorophyll-a concentration in the Yellow Sea based on Google Earth Engine. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 177, p. 113574. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113574.

Li, Dongxue; Gao, Zhiqiang; Wang, Zhicheng (2022) Analysis of the reasons for the outbreak of Yellow Sea green tide in 2021 based on long-term multi-source data. In : *Marine environmental research*, vol. 178, p. 105649. DOI: 10.1016/j.marenvres.2022.105649.

Li, Hongmei; Feng, Xiuting; Xiong, Tianqi; He, Chen; Wu, Wangchi; Shi, Quan et al. (2023) Green Tides Significantly Alter the Molecular Composition and Properties of Coastal DOC and Perform Dissolved Carbon Sequestration. In : *Environmental Science & Technology*, vol. 57, n° 1, p. 770–779. DOI: 10.1021/acs.est.2c05684.

Lin, Xuyin; Liu, Wenzheng; Wei, Xiu; Jiang, Peng (2022) Complete chloroplast genome of an invasive marine macroalga *Ulva californica* (Ulvophyceae, Chlorophyta). In : *Mitochondrial DNA Part B*, vol. 7, n° 7, p. 1337–1339. DOI: 10.1080/23802359.2022.2098854.

Liu, Feng; Melton, James T.; Wang, Hongshu; Wang, Jing; Lopez-Bautista, Juan M. (2022) Understanding the Evolution of Mitochondrial Genomes in the Green Macroalgal Genus *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta). In : *Frontiers in Marine Science*, vol. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.850710.

Liu, Feng; Wang, Hongshu; Song, Wenli (2022) Tandem integration of circular plasmid contributes significantly to the expanded mitochondrial genomes of the green-tide forming alga *Ulva meridionalis* (Ulvophyceae, Chlorophyta). In : *Frontiers in plant science*, vol. 13, p. 937398. DOI: 10.3389/fpls.2022.937398.

Liu, Wenzheng; Liu, Qianchun; Zhao, Jin; Wei, Xiu; Jiang, Peng (2022) Comparative chloroplast genomes of *Ulva prolifera* and *U. linza* (Ulvophyceae) provide genetic resources for the development of interspecific markers. In : *Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 40, n° 6, p. 2372–2384. DOI: 10.1007/s00343-022-2045-x.



Liu Jinchao, Liu Jianqiang, Ding Jing, Lu Yingcheng; Liu Jinchao; Liu Jianqiang; Ding Jing; Lu Yingcheng (2022) A refined imagery algorithm to extract green tide in the Yellow Sea from HY-1C satellite CZI measurements. In : *海洋学报*, vol. 44, n° 5, p. 1–11. DOI: 10.12284/hyxb2022097.

Lü, Xiaoqian; Xu, Hao; Zhao, Sheng; Kong, Fanzhou; Yan, Tian; Jiang, Peng (2022) The green tide in Yingkou, China in summer 2021 was caused by a subtropical alga—*Ulva meridionalis* (Ulvophyceae, Chlorophyta). In : *Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 40, n° 6, p. 2354–2363. DOI: 10.1007/s00343-022-2014-4.

Ma, Chen; Chen, Huiying (2022) Research on World Green Tide Phenomenon and the Green Tide Management at Qingdao Yellow Sea: OCEANS 2022, Hampton Roads: IEEE.

Ma, Wen-Fei; Li, Jing-Yu (2022) Analysis of the underlying mechanisms of green tide with a perspective of algae ecophysiology. In : *Ying yong sheng tai xue bao = The journal of applied ecology*, vol. 33, n° 5, p. 1420–1428. DOI: 10.13287/j.1001-9332.202205.028.

Ma, Yufei; Wong, Kapo; Tsou, Jin Yeu; Zhang, Yuanzhi (2022) Investigating Spatial Distribution of Green-Tide in the Yellow Sea in 2021 Using Combined Optical and SAR Images. In : *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, n° 2, p. 127. DOI: 10.3390/jmse10020127.

Mancuso, F. Paolo; D'Agostaro, Riccardo; Milazzo, Marco; Badalamenti, Fabio; Musco, Luigi; Mikac, Barbara et al. (2022) The invasive seaweed *Asparagopsis taxiformis* erodes the habitat structure and biodiversity of native algal forests in the Mediterranean Sea. In : *Marine environmental research*, vol. 173, p. 105515. DOI: 10.1016/j.marenvres.2021.105515.

Maurer, Andrew S.; Gross, Kevin; Stapleton, Seth P. (2022) Beached *Sargassum* alters sand thermal environments: Implications for incubating sea turtle eggs. In : *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 546, p. 151650. DOI: 10.1016/j.jembe.2021.151650.

Ning, Limin; Yao, Zhong; Zhu, Benwei (2022) *Ulva* (Enteromorpha) Polysaccharides and Oligosaccharides: A Potential Functional Food Source from Green-Tide-Forming Macroalgae. In : *Marine drugs*, vol. 20, n° 3, p. 202. DOI: 10.3390/md20030202.

Nukapothula, Sravanthi; Yunus, Ali P.; Chen, Chuqun (2022) Signals of intense primary production in response to *Ulva prolifera* bloom in the Yellow Sea during summer 2021. In : *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 128, p. 103257. DOI: 10.1016/j.pce.2022.103257.

Park, Hye Jin; Byeon, Seo Yeon; Park, Sang Rul; Lee, Hyuk Je (2022) Temporal variation in the community structure of green tide forming macroalgae (Chlorophyta; genus *Ulva*) on the coast of Jeju Island, Korea based on DNA barcoding. In : *Korean Journal of Environmental Biology*, vol. 40, n° 4, p. 464–476. DOI: 10.11626/KJEB.2022.40.4.464.

Qi, Lin; Hu, Chuanmin; Barnes, Brian B.; Lapointe, Brian E.; Chen, Yanlong; Xie, Yuyuan; Wang, Menghua (2022) Climate and Anthropogenic Controls of Seaweed Expansions in the East China Sea and Yellow Sea. In : *Geophysical Research Letters*, vol. 49, n° 19, e2022GL098185. DOI: 10.1029/2022GL098185.

Qi, Lin; Wang, Menghua; Hu, Chuanmin; Holt, Benjamin (2022) On the capacity of Sentinel-1 synthetic aperture radar in detecting floating macroalgae and other floating matters. In : *Remote Sensing of Environment*, vol. 280, p. 113188. DOI: 10.1016/j.rse.2022.113188.

Qu, Tongfei; Hou, Chengzong; Guan, Chen; Zhao, Xinyu; Chen, Jun; Zhong, Yi et al. (2022) Phycospheric bacterial community structure and function succession during the typical harmful macroalgal blooms. In : *Frontiers in Marine Science*, vol. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.1101378.



- Qu, Tongfei; Zhao, Xinyu; Guan, Chen; Hou, Chengzong; Chen, Jun; Zhong, Yi et al. (2023) Structure-Function Covariation of Phycospheric Microorganisms Associated with the Typical Cross-Regional Harmful Macroalgal Bloom. In : Applied and Environmental Microbiology, vol. 89, n° 1, e0181522. DOI: 10.1128/aem.01815-22.
- Ren, Cheng-Gang; Qin, Song (2022) The ever-lasting green tides: what can we do? In : Authorea Preprints. DOI: 10.22541/au.166937249.96579706/v1.
- Senga, Yukiko; Sato, Tsubasa; Shibaki, Kanae; Kuroiwa, Megumi; Nohara, Seiichi; Suwa, Yuichi (2022) Alteration of Dissimilatory Nitrate Reduction Pathways in the Intertidal Sediment during Macroalgae Blooms. In : Water, vol. 14, n° 19, p. 3022. DOI: 10.3390/w14193022.
- Shang, Weitao; Gao, Zhiqiang; Gao, Meng; Jiang, Xiaopeng (2023) Monitoring Green Tide in the Yellow Sea Using High-Resolution Imagery and Deep Learning. In : Remote Sensing, vol. 15, n° 4, p. 1101. DOI: 10.3390/rs15041101.
- Son, Young Baek; Choi, Jong Kuk (2022) Spectral characteristics of the green and golden tide in the Yellow Sea and East China Sea of the green and golden tide in the Yellow Sea and East China Sea. In : Ocean Optics Conference 2022. En ligne : <https://sciwatch.kiost.ac.kr/handle/2020.kiost/43439>.
- Son, Young Baek; Kwon, Soon Yeol; Lee, Tae Hee; Choi, Jong Kuk (2022) Tracing the green-tide outbreaks using in situ, AUV, satellite and model data in Shinyang Bay, Korea. In : Living Planet Symposium 2022. En ligne : <https://sciwatch.kiost.ac.kr/handle/2020.kiost/42554>.
- Song, Minjie; Kong, Fanzhou; Li, Yifan; Zhao, Jin; Yu, Rencheng; Zhou, Mingjiang et al. (2022) A Massive Green Tide in the Yellow Sea in 2021: Field Investigation and Analysis. In : International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 19, n° 18, p. 11753. DOI: 10.3390/ijerph191811753.
- Song, Qingjun; Ma, Chaofei; Liu, Jianqiang; Wei, Hongyang (2022) Quantifying ocean surface green tides using high-spatial resolution thermal images. In : Optics Express, vol. 30, n° 20, p. 36592–36602. DOI: 10.1364/oe.472479.
- Spain, Olivia; Hardouin, Kevin; Bourgoignon, Nathalie; Michalak, Izabela (2022) Enzyme-assisted extraction of red seaweed *Solieria chordalis* (C.Agardh) J. Agardh 1842—the starting point for the production of biostimulants of plant growth and biosorbents of metal ions. In : Biomass Conversion and Biorefinery, p. 1–15. DOI: 10.1007/s13399-022-02456-7.
- Sree, Jewel Kumar chowdhury; Yang, Chan Su; Rashid ahmed, Harun Al (2022a) Detection of Macroalgal Blooms by SAR and Optical Remote Sensing. In : 2022 제10회 한국연안방재학회 연례학술대회, p. 64. En ligne : <https://sciwatch.kiost.ac.kr/handle/2020.kiost/43190>.
- Sree, Jewel Kumar chowdhury; Yang, Chan Su; Rashid ahmed, Harun Al (2022b) Monitoring of macroalgal blooms by sar and optical remote sensing in the yellow sea. In : ISRS 2022 (International Symposium on Remote Sensing 2022), p. 182–184. En ligne : <https://sciwatch.kiost.ac.kr/handle/2020.kiost/42494>.
- Stevens, Leigh M.; Forrest, Barrie M.; Dudley, Bruce D.; Plew, David R.; Zeldis, John R.; Shankar, Ude et al. (2022) Use of a multi-metric macroalgal index to document severe eutrophication in a New Zealand estuary. In : New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, vol. 56, n° 3, p. 410–429. DOI: 10.1080/00288330.2022.2093226.
- Stokvis, L.; Rayner, C.; van Krimpen, M. M.; Kals, J.; Hendriks, W. H.; Kwakkel, R. P. (2022) A proteolytic enzyme treatment to improve *Ulva laetevirens* and *Solieria chordalis* seaweed co-product digestibility,



performance, and health in broilers. In : Poultry Science, vol. 101, n° 5, p. 101777. DOI: 10.1016/j.psj.2022.101777.

Sturbois, A.; Riera, P.; Desroy, N.; Brébant, T.; Carpentier, A.; Ponsero, A.; Schaal, G. (2022) Spatio-temporal patterns in stable isotope composition of a benthic intertidal food web reveal limited influence from salt marsh vegetation and green tide. In : Marine environmental research, vol. 175, p. 105572. DOI: 10.1016/j.marenvres.2022.105572.

Sun, Ming; Li, Yunzhou; Ren, Yiping; Chen, Yong (2022) Redefine Sustainable Fisheries Targets Under the Impact of the Southern Yellow Sea Green Tide: Mitigating the Recurring Surge in Natural Mortality. In : Frontiers in Marine Science, vol. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.813024.

Sun, Yuqing; Liu, Jinlin; Xia, Jing; Tong, Yichao; Li, Chongxiang; Zhao, Shuang et al. (2022) Research development on resource utilization of green tide algae from the Southern Yellow Sea. In : Energy Reports, vol. 8, p. 295–303. DOI: 10.1016/j.egyr.2022.01.168.

Sun, Yuqing; Xia, Zhangyi; Cao, Xiaoli; Tong, Yichao; He, Ruyan; Fu, Meilin et al. (2022) A mixed acid treatment for the prevention of *Ulva prolifera* attachment to *Neopyropia* aquaculture rafts: Laboratory experimentation. In : Marine pollution bulletin, vol. 184, p. 114134. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.114134.

Sun, Yuqing; Yao, Lulu; Liu, Jinlin; Tong, Yichao; Xia, Jing; Zhao, Xiaohui et al. (2022) Prevention strategies for green tides at source in the Southern Yellow Sea. In : Marine pollution bulletin, vol. 178, p. 113646. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113646.

Tong, Yichao; Tang, Peichun; Sun, Yuqing; Zhao, Shuang; Zhang, Jianheng; Liu, Jinlin; He, Peimin (2022) Distribution characteristics of green algal micro-propagules in the East China Sea in winter and their relationship with green tide macroalgae in the Yellow Sea. In : Journal of Sea Research, vol. 190, p. 102308. DOI: 10.1016/j.seares.2022.102308.

Tong, Yichao; Xia, Lihua; Liu, Jinlin; Zhao, Shuang; Sun, Yuqing; Wu, Tingjian et al. (2022) Distribution and Identification of *Ulva aragoensis* (Ulveae, Chlorophyta), a Constituent Species of Green Tides in the Southern Yellow Sea, Based on Molecular Data. In : Journal of Marine Science and Engineering, vol. 10, n° 11, p. 1767. DOI: 10.3390/jmse10111767.

Vinuganesh, A.; Kumar, Amit; Prakash, S.; Alotaibi, Modhi O.; Saleh, Ahmed M.; Mohammed, Afrah E. et al. (2022) Influence of seawater acidification on biochemical composition and oxidative status of green algae *Ulva compressa*. In : The Science of the total environment, vol. 806, n° Pt 1, p. 150445. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150445.

Wahab, Mohamed Ali; Kebelmann, Katharina; Schartel, Bernhard; Griffiths, Gareth (2022) Valorization of macroalgae digestate into aromatic rich bio-oil and lipid rich microalgal biomass for enhanced algal biorefinery performance. In : Journal of Cleaner Production, vol. 341, p. 130925. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130925.

Wang, Sheng; Zhao, Liang; Wang, Yuheng; Zhang, Haiyan; Li, Fei; Zhang, Yijie (2022) Distribution characteristics of green tides and its impact on environment in the Yellow Sea. In : Marine environmental research, vol. 181, p. 105756. DOI: 10.1016/j.marenvres.2022.105756.

Wang, Zhongyuan; Fang, Zhixiang; Liang, Jianfeng; Song, Xiao (2022) Assessment of global habitat suitability and risk of ocean green tides. In : Harmful Algae, vol. 119, p. 102324. DOI: 10.1016/j.hal.2022.102324.



Wei, Xiu; Liu, Wenzheng; Lin, Xuyin; Liu, Qianchun; Jiang, Peng (2022) First record of *Ulva californica* in the mainland of China: a single alien parthenogenetic population in discontinuous distribution. In : *Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 40, n° 6, p. 2343–2353. DOI: 10.1007/s00343-022-1392-y.

Wen, Qinlin; Yang, Weiming; Li, Jingshi; Liu, Jinlin; Zhao, Shuang; Gao, Song et al. (2022) Characterization of complete chloroplast genome of *Ulva torta* (Mertens) Trevisan, 1841. In : *Mitochondrial DNA Part B*, vol. 7, n° 6, p. 1041–1043. DOI: 10.1080/23802359.2022.2081943.

Wu, Hailong; Li, Xuebing; Liu, Yanhong; Wang, Chuchu; Ji, Chenkai; Xu, Juntian (2022) Increased Temperature and Nitrogen Enrichment Inhibit the Growth of the Golden Tide Blooming Macroalgae *Sargassum horneri* in the Yellow Sea, China. In : *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, n° 11, p. 1692. DOI: 10.3390/jmse10111692.

Wu, Yijing; Xu, Xin; Jiang, Xuanjing; Lin, Jingying; Lin, Xiaoyu; Zhao, Shicheng; Yang, Jie (2022) Valorisation of harmful algae bloom (*Enteromorpha prolifera*) for polysaccharide and crude bio-oil production. In : *Fuel*, vol. 324, p. 124482. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.124482.

Xia, Zhangyi; Yuan, Huanqing; Liu, Jinlin; Sun, Yuqing; Tong, Yichao; Zhao, Shuang et al. (2022) A review of physical, chemical, and biological green tide prevention methods in the Southern Yellow Sea. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 180, p. 113772. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113772.

Xin, Xiangrong; Liu, Xirong; Miao, Sheng (2022) Monitoring of Green Tide Under Cloud Based on GOCI-II Data: IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium: IEEE.

Xiong, Tianqi; Li, Hongmei; Yue, Yufei; Hu, Yubin; Zhai, Wei-Dong; Xue, Liang et al. (2023) Legacy Effects of Late Macroalgal Blooms on Dissolved Inorganic Carbon Pool through Alkalinity Enhancement in Coastal Ocean. In : *Environmental Science & Technology*, vol. 57, n° 5, p. 2186–2196. DOI: 10.1021/acs.est.2c09261.

Xu, Zhiguang; Li, Lingxue; Jiang, Huichao; Yan, Fang; Liu, Lijuan; Zang, Shasha et al. (2022) Photosynthetic responses of a golden tide alga (*Sargassum horneri*) to ultraviolet radiation. In : *Frontiers in Marine Science*, vol. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.978376.

Xu, Zhihua; Meng, Wenchao; Li, Shuqin; Shan, Jingzhu (2023) Residents' preference for the management of green tides and its determinants: The evidence from Qingdao, China. In : *Ocean & Coastal Management*, vol. 233, p. 106445. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106445.

Yan, Fang; Jiang, Huichao; Ma, Yuanqing; Cui, Cuiju; Qin, Huawei; Liu, Lijuan et al. (2022) Combined Influences of Light and Nitrogen Enrichment on the Physiological Performance of a Golden Tide Alga (*Sargassum horneri*). In : *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, n° 9, p. 1195. DOI: 10.3390/jmse10091195.

Yu, Yanyan; Lin, JiaJia; Jiang, Jianan; Hu, Shanshan; Kang, Chang-Keun; Xu, Nianjun; Li, Yahe (2022) Environmental history affects the growth and photosynthesis of a green-tide macroalgae *Ulva prolifera*. In : *Aquaculture Research*, vol. 53, n° 6, p. 2509–2517. DOI: 10.1111/are.15768.

Yuan, Chao; Xiao, Jie; Zhang, Xuelei; Fu, Mingzhu; Wang, Zongling (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° 6, p. 78–87. DOI: 10.1007/s13131-021-1894-z.

Yuan, Chao; Xiao, Jie; Zhang, Xuelei; Zhou, Jian; Wang, Zongling (2022) A new assessment of the algal biomass of green tide in the Yellow Sea. In : *Marine pollution bulletin*, vol. 174, p. 113253. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.113253.



Yuan, Yiming; Luo, Biyun; Li, Zhien; He, Yanlong; Xia, Lihua; Qin, Yutao et al. (2022) Effects of green tide on microbial communities in waters of the Jiangsu coastal area, China. In : Water Environment Research, vol. 94, n° 10, e10797. DOI: 10.1002/wer.10797.

Zhang, Shuai; Hu, Chuanmin; Barnes, Brian B.; Harrison, Tanya N. (2022) Monitoring Sargassum Inundation on Beaches and Nearshore Waters Using PlanetScope/Dove Observations. In : IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 19, p. 1–5. DOI: 10.1109/LGRS.2022.3148684.

Zhang, Tao; Wang, Jiakuan; Liu, Dongxiang; Sun, Zhongwei; Tang, Ruikai; Ma, Xiaona; Feng, Zhihua (2022) Loading of microplastics by two related macroalgae in a sea area where gold and green tides occur simultaneously. In : The Science of the total environment, vol. 814, p. 152809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152809.

Zhang, Weiqian; Han, Hongbin; Qiu, Limei; Liu, Chao; Zhang, Qingchun; Zhou, Guizhong (2022) Variations in nano- and pico-eukaryotic phytoplankton assemblages in the Qinhuangdao green-tide area. In : Journal of Oceanology and Limnology, vol. 40, n° 6, p. 2446–2461. DOI: 10.1007/s00343-022-2198-7.

Zhao, Guihua; He, Hui; Wang, Hualong; Liang, Yantao; Guo, Cui; Shao, Hongbing et al. (2022) Variations in Marine Bacterial and Archaeal Communities during an *Ulva prolifera* Green Tide in Coastal Qingdao Areas. In : Microorganisms, vol. 10, n° 6, p. 1204. DOI: 10.3390/microorganisms10061204.

Zhao, Guihua; He, Hui; Yue, Ming; Wang, Hualong; Shao, Hongbing; Wang, Min (2022) Differential responding patterns of the nirK-type and nirS-type denitrifying bacterial communities to an *Ulva prolifera* green tide in coastal Qingdao areas. In : Frontiers in Marine Science, vol. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.1063585.

Zhao, Jia-Yu; Geng, Hui-Xia; Zhang, Qing-Chun; Li, Yi-Fan; Kong, Fan-Zhou; Yan, Tian et al. (2022) Green Tides in the Yellow Sea Promoted the Proliferation of Pelagophyte *Aureococcus anophagefferens*. In : Environmental Science & Technology, vol. 56, n° 5, p. 3056–3064. DOI: 10.1021/acs.est.1c06502.

Zhao, Jin; Kong, Fanzhou; Liu, Qianchun; Li, Fengjie; Wei, Xiu; Yan, Tian; Jiang, Peng (2022) Tempo-spatial distribution of *Ulva* spp. micro-propagules in the Yellow Sea during and after green tide in 2019. In : Journal of Oceanology and Limnology, vol. 40, n° 6, p. 2462–2472. DOI: 10.1007/s00343-022-1365-1.

Zheng, Longxiao; Wu, Mengquan; Cui, Yating; Tian, Li; Yang, Pengsen; Zhao, Lianjie et al. (2022) What causes the great green tide disaster in the South Yellow Sea of China in 2021? In : Ecological Indicators, vol. 140, p. 108988. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108988.

Zhong, Yi; Xu, Jinhui; Zhao, Xinyu; Qu, Tongfei; Guan, Chen; Hou, Chengzong et al. (2022) Balancing Damage via Non-Photochemical Quenching, Phenolic Compounds and Photorespiration in *Ulva prolifera* Induced by Low-Dose and Short-Term UV-B Radiation. In : International Journal of Molecular Sciences, vol. 23, n° 5, p. 2693. DOI: 10.3390/ijms23052693.

Zhong, Zhihai; Sun, Lin; Liu, Zhengyi; Song, Zhimin; Liu, Mengying; Tong, Shanying; Qin, Song (2022) Ocean acidification exacerbates the inhibition of fluctuating light on the productivity of *Ulva prolifera*. In : Marine pollution bulletin, vol. 175, p. 113367. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113367.

Zhuo, Jintao; Wang, Hong; Du, Yifei; Shi, Mengmeng; Huan, Li; Wang, Guangce (2023) Transcriptomic Analysis of *Ulva prolifera* in Response to Salt Stress. In : Water, vol. 15, n° 1, p. 63. DOI: 10.3390/w15010063.